

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

*(для студентів 3,4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
а також для слухачів другої вищої освіти
за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання")*

Харків
ХНУМГ
2014

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Електричні апарати» (для студентів 3,4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, а також для слухачів другої вищої освіти за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання") / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. В. Скопенко, С. В. Швець. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 102 с.

Укладачі: канд. тех. наук **В. В. Скопенко**
канд. тех. наук **С. В. Швець**

Рецензент: **В. М. Гаряжа**, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст, протокол засідання № 1 від 29 серпня 2014 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Загальні вказівки.....	5
Лабораторна робота 1.....	7
Лабораторна робота 2.....	21
Лабораторна робота 3.....	37
Лабораторна робота 4.....	50
Лабораторна робота 5.....	70
Лабораторна робота 6.....	89
Список джерел.....	101

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Електричні апарати" призначені для студентів 3, 4 курсу денної форми та 4 курсу заочної форми навчання, а також для слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 –Електротехніка та електротехнології", спеціальність 7.05070103 "Електротехнічні системи електроспоживання".

У курсі вивчаються основи теорії електричних апаратів високої та низької напруги, контактних і безконтактних елементів автоматики, що обслуговують електроустановки по виробництву, перетворенню, розподілу та споживанню електричної енергії. Аналізуються конструкції сучасних розподільчих пристроїв. Вивчаються методи вибору низьковольтних електричних апаратів при проектуванні електричних мереж.

У методичних вказівках надані мета та зміст лабораторних робіт, загальні теоретичні положення, принципи побудови та вказівки щодо технічного обслуговування електричних апаратів, які досліджуються, перелік питань до кожної лабораторної роботи, вимоги до складання звітів.

Докладний список літератури, наведений у методичних вказівках, дозволить студентам поглиблювати і розширювати здобуті знання, плідно використовувати час, призначений для самостійної роботи.

Методичні вказівки ухвалено:

Кафедрою електропостачання міст. (протокол № 1 від 29 серпня 2014 р.).

Вченою радою факультету електропостачання та освітлення міст. (протокол № 4 від 29 жовтня 2014 р.).

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Лабораторний практикум є основною частиною практичної підготовки студентів відповідно до програми навчальної дисципліни "Електричні апарати".

Для успішного виконання лабораторної роботи необхідно напередодні ознайомитись з програмою роботи, вивчити теоретичні матеріали, що відносяться до неї, підготувати звіт по роботі і протокол випробувань.

Лабораторні установки являють собою реальні зразки обладнання, які знаходяться в експлуатації, що має сприяти придбання студентами практичних навичок у контролі і випробуванні конкретних зразків електричних апаратів в реальних умовах роботи інженера-електрика.

Перш ніж приступити до виконання робіт, студенти повинні пройти спеціальний інструктаж по забезпеченню безпеки і протипожежним заходам.

При проведенні лабораторних робіт студенти повинні дотримуватися таких правил:

- уважно проробити завдання на лабораторну роботу, ознайомитись з вимірювальними і випробувальними схемами, з'ясувати послідовність операцій, що проводяться;
- оглянути встановлене на робочому місці обладнання і прилади, пересвідчитися в їх справності. При наявності незнайомих приладів потрібно вивчити їх конструкцію, технічні характеристики та правила користування;
- перед початком зборки схем встановити, якими пристроями в схему подається напруга, якої величини і якого роду ця напруга. Пересвідчитися, що вони відключені;
- збирання схем потрібно проводити так, щоб вона вийшла більш прийнятною, не треба застосовувати надто довгі провідники або дуже короткі (в натяг). Приєднувати під один затискач більше двох провідників не рекомендується. Застосовувати провідники без наконечників або з порушеною ізоляцією забороняється;
- при збиранні схем необхідно дотримуватись відповідності технічних характеристик вимірювальної і регулювальної апаратури параметрам пристроїв захисту, що підлягають випробуванням;
- якщо вимірювальні прилади розраховані на декілька меж вимірювання, а апарати допускають включення на різну напругу, то перед збиранням схеми прилади і апарати потрібно включити для роботи на оперативну напругу даної лабораторної установки;
- всі прилади при збиранні повинні бути включені на максимальну межу вимірювання, рухомі частини регулювальних трансформаторів повинні знаходитися в положенні, що забезпечує мінімальну напругу на виході, а реостатів – в положенні, що забезпечує максимальний опір;
- включення вимірювальних і випробувальних схем під напругу можна здійснювати тільки після перевірки правильності зборки викладачем. Після включення схеми під напругу необхідно провести частину випробувань без запису показань вимірювальних приладів і, тільки пересвідчившись в

правильності роботи схеми, приступити до виконання програми випробувань;

- при виконанні вимірювальних операцій межі вимірювальної апаратури потрібно вибирати таким чином, щоб відлік проводився по показаннях у другій половині шкали, однак не можна допускати виходу показника за межі шкали;

- по завершенні роботи потрібно відключити напругу, пересвідчитися у відповідності отриманих результатів необхідним і сповістити про це викладача;

- розбирати схему і перейти до чергового пункту програми роботи слід тільки з дозволу викладача;

- по закінченні лабораторної роботи необхідно прибрати робоче місце, здати прилади і інструменти викладачу, оформити протоколи і звіт по роботі.

Всі роботи повинні проводитись відповідно до вимог правил і заходів безпеки в установках напругою до 1000 В. Перед включенням випробувальних схем або самих електричних апаратів під напругу оточуючий персонал повинен бути обов'язково попереджений про операції, що пропонуються.

Проводити які-небудь зміни в схемах, що знаходяться під напругою, або торкатися до оголених місць струмоведучих частин пристрів категорично забороняється.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РЕЛЕ

1 Мета роботи

1. Вивчення принципу дії електромагнітних вимірювальних реле та їх місце в схемах захисту споживачів.
2. Дослідження особливостей конструкції електромагнітних вимірювальних реле.
3. Засвоєння головних електричних характеристик електромагнітних вимірювальних реле та методики їх визначення.
4. Дослідження надійності роботи реле.

2 Загальні положення

Електромагнітними називають реле, в яких магнітне поле, що створюється струмом обмотки, впливає на рухомий сталевий ярмір. Відповідно до конструкції реле поділяють на соленоїдні, клапанні і реле з поворотним ярмом. Найбільше поширення в схемах пристроїв максимального струмового захисту отримало реле з поворотним ярмом типу РТ- 40 (рис. 1.1).

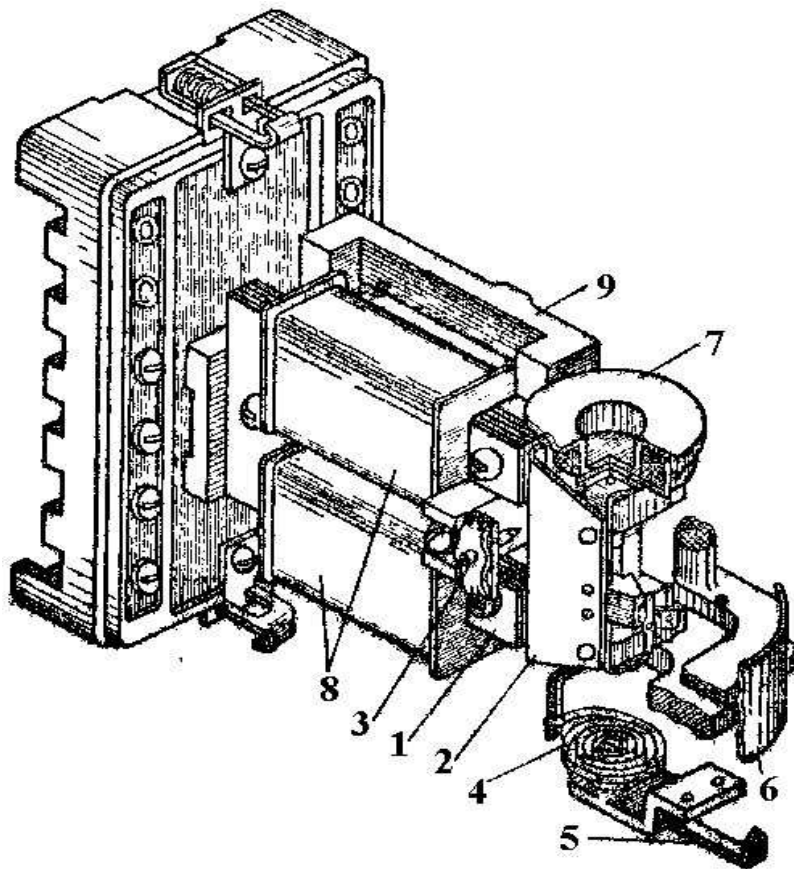


Рисунок 1.1 – Будова електромагнітного реле типу РТ-40

Магнітна система реле складається з П-образного шихтованого осердя 1 і Г-образного якоря. У осерді електромагніту під котушками є вирізи, призначені для зниження вібрації рухомої системи при великих і несинусоїдальних струмах за рахунок зменшення величини магнітного потоку при насиченні.

Положення якоря в початковому і кінцевому положеннях фіксується установочними гвинтами 3. У початковому положенні якір утримується за допомогою протидіючої спіральної пружини 4, один кінець якої зв'язаний з якорем, а іншої – з покажчиком уставки 5. При повороті покажчика змінюється протидіючий момент пружини, а отже, і струм спрацювання. Величина струму спрацювання, що відповідає натягненню протидіючої пружини, наноситься на шкалу 6. При повороті покажчика з початкового положення на 90^0 момент протидіючої пружини збільшується в 4 рази.

До якоря прикріплені опорна скоба і пластмасова колодка з двома рухомими містковими контактами. До верхньої частини скоби прикріплений барабанчик 7 з радіальними перегородками всередині. Порожнина барабанчика заповнена сухим піском. При прискоренні рухомої системи піщинки приходять в рух і частина енергії, що передається якорю, тратиться на подолання сил тертя між піщинками. Завдяки цьому знижується вплив змінної складової тягової сили електромагніту, що визначає вібрацію якоря. Крім того, зменшується вібрація контактів при їх співударі в момент замикавання.

На осерді розташовані дві обмотки 8, кінці яких виведені на затискачі цоколя реле. Перестановкою перемичок на цих затискачах можна здійснювати паралельне і послідовне з'єднання обмоток, змінюючи тим самим величини уставок струму спрацювання в два рази. Цифри, що нанесені на шкалі реле, відповідають послідовному з'єднанню обмоток.

Всі вузли змонтовані на основі 9 з алюмінієвого сплаву, укріпленому на пластмасовому цоколі реле. і закриті прозорим кожухом з полістиролу.

З теорії електромагнітних приладів відомо, що електромагнітна сила, що притягає стальний якір до електромагніту, пропорційна квадрату магнітного потоку в повітряному зазорі

$$F_e = K \cdot \Phi^2,$$

де K – коефіцієнт пропорційності, який враховує матеріал магнітопровода і площу його перерізу;

Φ – магнітний потік.

Магнітний потік і утворюючий його струм в обмотці реле I_p зв'язані співвідношенням

$$\Phi = \frac{I_p \cdot \omega_p}{p},$$

де p – магнітний опір кола, по якому замикається потік Φ ;

ω_p – число витків в обмотці реле.

Оскільки реле типу РТ-40 має поворотний якір, то зручніше силу, діючу на нього, замінити на момент обертання.

Спрощено електромагнітний момент обертання $M_{обер}$ можна подати у такому вигляді

$$M_{обер} = F_e \cdot l_p,$$

де l_p – плече дії сили,

або, після підстановки складових

$$M_{обер} = K \cdot \frac{\omega_p^2}{p^2} \cdot I_p^2 \cdot l_p$$

Якщо з деяким припущенням прийняти, що поле в повітряному зазорі однорідне, то магнітний опір реле стане прямо пропорційним довжині повітряного зазору. У цьому випадку вираз для обертаючого моменту приймає вигляд

$$M_{обер} = K \cdot \frac{\omega^2}{\delta^2} \cdot I_p^2 \cdot l_p.$$

де δ – повітряний зазор між полюсами і якорем.

Таким чином, величина електромагнітного моменту залежить від числа витків в обмотці, струму в ній і від величини повітряного зазору (кута повороту якоря).

Потрібно враховувати, що при протіканні струму в обмотках реле обертання якоря буде протидіяти пружина, яка утримує якір в початковому положенні, а також сила тертя в підшипниках. Отже, для спрацювання реле необхідно щоб електромагнітний момент обертання перевищував суму протидіючих моментів за рахунок дії сил пружини і сил тертя у підшипниках на всьому шляху руху якоря

$$M_{обер} > M_{пр} + M_{тер}$$

Найменший струм, при якому виконується ця умова, називають струмом спрацювання реле $I_{спр}$.

З останніх двох рівнянь видно, що струм спрацювання реле можна змінювати трьома способами: числом витків в обмотці, моментом протидіючої пружини, довжиною повітряного зазору з урахуванням сил тертя. Найбільш легким і зручним для практичного використання є два перших способи.

Для плавного регулювання струму спрацювання звичайно використовують зміну моменту протидіючої пружини. При пересуванні повідка 7 праворуч натягнення пружини збільшується і тому для повороту якоря буде потрібний більший електромагнітний момент, а, отже, і більший струм в обмотці реле.

Регулювання струму спрацювання зміною числа витків здійснюють за рахунок послідовного або паралельного з'єднання полуобмоток реле. Це пояснюється тим, що необхідна для спрацювання реле магніторухаюча сила при послідовному з'єднанні полуобмоток буде створена при струмі в обмотці в два рази меншому, ніж при їх паралельному з'єднанні.

Таким чином, використовуючи одночасно обидва способи, можна змінити уставку реле в чотири рази.

Повернення притягнутого якоря в початкове положення відбувається під дією протидіючої пружини. Для повернення необхідне таке зменшення струму в обмотці реле, щоб момент пружини став більше електромагнітного моменту обертання та тертя на всьому шляху руху якоря в початкове положення, тобто

$$M_{np} > M_{обер} + M_{тер},$$

звідки

$$M_{обер} < M_{np} - M_{тер}.$$

Момент тертя $M_{тер}$ перешкоджає поверненню якоря і направлений тепер протилежно $M_{обер}$.

Найбільше значення струму, при якому якір реле повертається в початкове положення, називають струмом повернення реле $I_{нов}$.

Відношення струму повернення до струму спрацювання отримало назву коефіцієнта повернення $K_{нов}$:

$$K_{нов} = \frac{I_{нов}}{I_{спр}}.$$

Очевидно, що в максимальних струмових реле струм повернення завжди менше струму спрацювання і тому $K_{нов} < 1$. У максимальних реле струму типу РТ-40 $K_{нов} = 0,85 - 0,95$.

Для забезпечення чіткої роботи пристроїв релейного захисту необхідно, щоб струм повернення реле можливо менше відрізнявся від струму спрацювання, тобто щоб коефіцієнт повернення був близький до 1.

Тому вельми важливо встановити, від яких параметрів і причин залежить величина коефіцієнта повернення. Розглянемо діаграму моментів, діючих на якір реле в функції величини повітряного зазору (рис. 1.2).

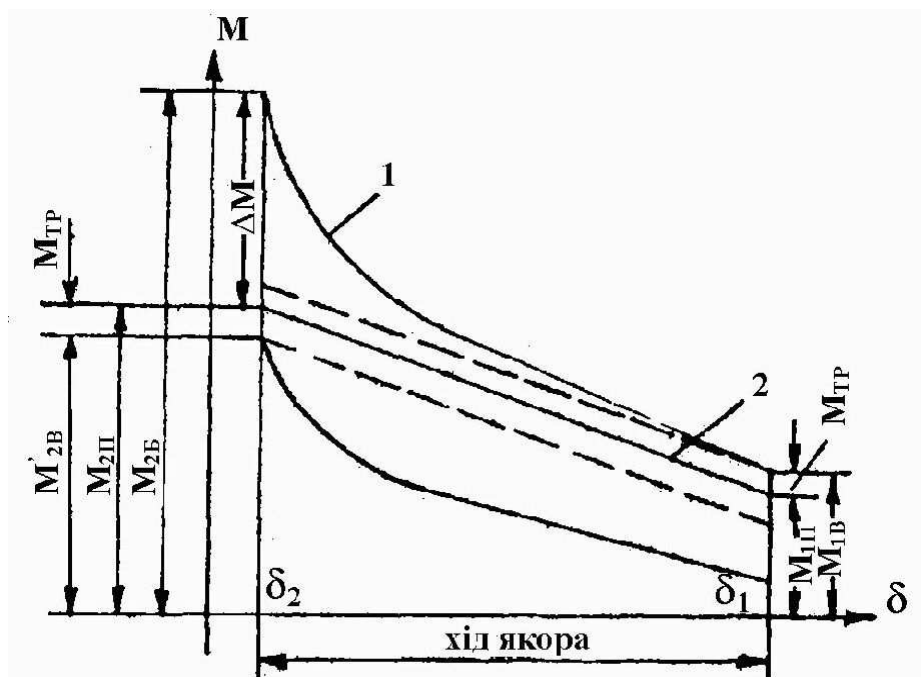


Рисунок 1.2 – Діаграма моментів сил в реле типу РТ-40

При спрацюванні реле його якір повертається і повітряний зазор δ зменшується від початкової величини δ_1 до δ_2 в кінці ходу якоря.

Протидіюча пружина при цьому розтягується і її момент M_{np} нарастає згідно з лінійним законом

$$M_{np} = M_{1n} + K(\delta_1 - \delta_2),$$

де M_{1n} – початковий протидіючий момент пружини.

Електромагнітний момент $M_{обер}$ також збільшується, але по кривій, що має більш складну залежність. Коли якір досягне кінцевого положення δ_2 , то, завдяки більш швидкому наростанню $M_{обер}$ в порівнянні з M_{np} , утвориться надмірний момент $\Delta M = M_{2обер} - M_{2n}$. Для повернення якоря необхідно зменшити струм в обмотці реле до величини $I_{нов}$, при якому момент $M_{обер}$ знизиться до $M_{2нов}$.

При цій умові момент пружини $M_{2нов}$ долає електромагнітний момент $M_{2обер}$ і момент за рахунок тертя $M_{тер}$ і якір повертається в початкове положення δ_1 .

З діаграми слідує, що чим більше надмірний момент ΔM і момент за рахунок тертя $M_{тер}$, тим більше різниця між $I_{нов}$ і $I_{спр}$ і тим менше $K_{нов}$.

Отже для поліпшення $K_{нов}$ необхідно забезпечити найбільше зближення характеристик зміни моментів $M_{обер}$ і M_{np} (що знижує надмірний момент) і максимальне зниження тертя в осях рухомої системи реле.

Надмірний момент буде значно меншим, якщо реле працює при великому кінцевому повітряному зазорі: цього досягають установкою спеціальних упорів або прокладок з немагнітного матеріалу.

Зниження надмірного моменту можна досягти вибором спеціальних профілів для полюсних наконечників електромагніту і для якоря, здатних забезпечити відносно невелику зміну повітряного зазору при обертанні якоря.

Для зниження тертя частин, що обертаються, розташовують в твердих опорах (сапфір, корунд), при цьому осі мають бути правильно заточені і добре відполіровані.

При конструюванні вимірювальних реле максимального струму типу РТ-40 враховані всі перелічені чинники, завдяки чому в них коефіцієнт повернення $K_{нов}$ знаходиться в межах від 0,85 до 0,9.

Технічні характеристики реле типу РТ-40

Реле серії РТ- 40 призначені для пристроїв релейного захисту змінного струму з частотою 50 - 60 Гц.

Похибка реле становить $\pm 5\%$ при температурі навколишнього повітря $+20^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт повернення $K_{нов}$ реле має 0,85 на першій уставці і не менше за 0,8 на інших. Додаткове регулювання забезпечує $K_{нов}$ не менше за 0,85 на

будь-якій уставці шкали, при цьому $K_{нов}$ на інших уставках не менше 0,8.

Для реле з мінімальною уставкою більше за 20А коефіцієнт повернення складає не менше за 0,7 на будь-якій уставці. Межі уставок спрацювання наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Межі уставок спрацювання реле серії РТ – 40

Тип реле	З'єднання котушок полуобмоток				Споживана потужність при струмі мінімальної уставки, Вт
	Послідовне		Паралельне		
	Межі уставок, А	I _{ном} , А	Межі уставок, А	I _{ном} , А	
РТ-40/0,2	0,5-0,1	0,5	0,1-0,2	1,0	0,2
РТ-40/0,1	0,15-0,3	1,6	0,3-0,6	3,2	0,2
РТ-40/2	0,5-0,1	3,8	1,0-2,0	7,6	0,2
РТ-40/6	1,5-3,0	10,0	3,0-6,0	20,0	0,5
РТ-40/10	2,5-5,0	16,0	5,0-10,0	32,0	0,5
РТ-40/20	5,0-10,0	18,0	10,0-20,0	36,0	0,5
РТ-40/50	12,5-25,0	25,0	25,0-50,0	50,0	0,8

Струм спрацювання на кожній з уставок при зміні частоти від 45 Гц до 60 Гц змінюється не більш ніж на 5% відповідно величині, виміряної при 50 Гц.

Власний час спрацювання реле – не більше за 0,1 с при струмі $1,2I_{уст}$ і 0,03 з при струмі $3I_{уст}$.

Контактна система реле складається з одного нормально замкненого і одного нормально розімкненого контактів.

Розривна потужність контактів при напрузі 220 В і струмі до 2А складає 60Вт в колі постійного струму з індуктивним навантаженням і 300 ВА у колі змінного струму. Тривало допустимий струм складає 2А.

Реле розраховані для роботи при температурі навколишнього повітря від 20 до +40°C.

Відповідно до вимог "Правил експлуатації" до параметрів, що характеризують стан реле відносять:

- струм спрацювання;
- струм повернення;
- коефіцієнт повернення;
- потужність споживання та опір обмотки реле;
- опір ізоляції обмоток та контактної системи реле.

При новому включенні реле в схему пристрою захисту та при планових перевірках контроль технічного стану реле треба здійснювати у такому об'ємі:

- зовнішній огляд;
- перевірка і регулювання механічної частини реле;
- перевірка стану ізоляції;
- перевірка і регулювання електричних характеристик реле (струм спрацювання і повернення, коефіцієнт повернення, надійність роботи контактів).

3 Методика контролю технічних характеристик вимірювального реле струму типу РТ-40

При новому включенні, планових перевірках контроль технічного стану реле здійснюється в наступному об'ємі:

- зовнішній огляд;
- перевірка і регулювання механічної частини і контактів реле;
- перевірка стану ізоляції;
- перевірка і регулювання електричних характеристик реле.

Зовнішній огляд реле проводиться перед його розкриттям. При цьому звертають увагу на наявність пломби, цілість кожуха, наявність, стан і надійність зміцнюючих гвинтів, контактних шпильок виводів і т.п.

Огляд, перевірку і регулювання механічної частини і контактів здійснюють в наступному порядку:

а) зняти кожух і пересвідчитися у відсутності пилу і бруду всередині реле. Перевірити надійність кріплення регулювальних гвинтів, щільність шихтовки магнітопроводу, відсутність пошкоджень ізоляції котушок і з'єднувальних проводів, а також стан контактних з'єднань. Помічені несправності слід усунути;

б) перевірити (на дотик) наявність повздовжнього і поперечного люфта, який повинен бути не менше за 0,2 мм. Перевірити ідентичність загинів пелюсток і наявність зазору між ними і полюсами;

в) перевірити надійність кріплення покажчика шкали, який повинен ходити по шкалі з деяким тертям і не зсуватися самовільно. Усунути помічені недоліки;

г) перевірити стан протидіючої пружини. Пружина повинна мати правильну спіральну форму. Площина спіралі повинна бути суворо перпендикулярна до осі реле. Витки пружини не повинні мати слідів корозії і зберігати рівномірний зазор при повороті повідка в робочих межах;

д) оглянути і відрегулювати робочі контакти. Брудні, закопчені контакти і контакти, що підгоріли, необхідно зачистити і відполірувати. При перевірці роботи контактів необхідно враховувати, що хід контакту не повинен бути дуже великим, оскільки це може викликати їх відкидання і затягнути час спрацювання реле. Мінімальний зазор між рухомими і нерухомими контактами по прямій повинен бути не менше за 1,5 мм щоб уникнути перекриття пружин нерухомих контактів через вібруючий під струмом місток. Необхідно також піддати перевірці кут зустрічі контактів β , що утворюється дотичною до дуги, що описується контактним містком при повороті якоря в точці дотику, і площиною нерухомих контактів. Цей кут повинен становити 25-30° (рис. 1.3).

При зменшенні кута β зростають спільний хід контактів і їх притирання, а також меншає електричний момент, необхідний для їх замикання. Однак потрібно враховувати, що при поверненні якорю меншає швидкість розходження контактів, за рахунок чого при розмиканні контактів виникає іскріння.

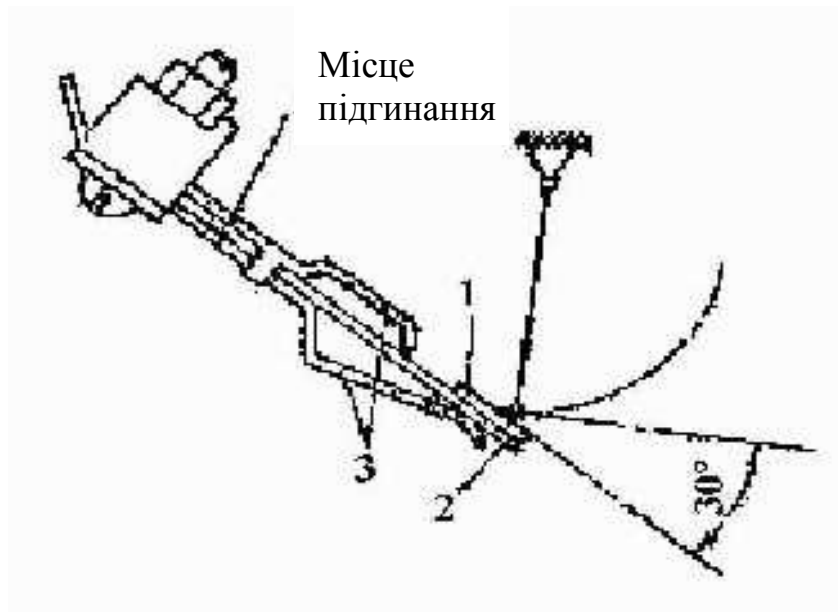


Рисунок 1.3 – Визначення кута зустрічі контактів реле

Спільний хід контактів повинен складати не менше за $(1 \div 1,5)$ мм. Для уникнення заскакування контактів зустріч містка з контактом повинна відбуватися на відстані $1/3$ довжини від переднього і заднього краю контакту. Чим більше спільний хід і менше кут зустрічі, тим більше притирання контактів, тим чіткіше їх робота при малих кратностях моменту на реле і менше відкидання при великих кратностях. Повернення реле, особливо при великій індуктивності навантаження, значно сповільнюється і контакти швидко зносяться від іскріння.

Нерухомі контакти повинні знаходитися в одній площині, мати однаковий вигин і замикатися контактним містком одночасно.

При огляді контактного містка потрібно мати на увазі, що він повинен мати зазори в повздовжніх і поперечних напрямках, що дозволяють йому повертатися навколо своєї осі на $10-15^\circ$ і вздовж осі на $0,2-0,3$ мм.

При замиканні реле упори на траверсі містка не повинні торкатися його тильної сторони. Понадміру великі повздовжні і поперечні зазори містка рухомого контакту приводять до вібрації містка при спрацюванні, спричиняючи іскріння контактів. Відсутність вільного ходу містка може привести до відмови реле, тобто, при різній пружності нерухомих контактів якір може зупинитися, замкнувши лише один контакт.

Для створення нормально-закритого контакту необхідно, щоб при відсутності струму в обмотці рухома система реле своєю вагою створювала невеликий прогин нижніх контактних пружин. Між якорем і гвинтами упора повинен бути зазор не менше за $0,5$ мм. При повороті якоря від руки нерухомі контакти, розгинаючись, повинні деякий час рухатися за рухомих містком, не розриваючи кола. Зазор між містком і верхнім і нижнім нерухомих контактами повинен бути однаковий, щоб забезпечити відстань між контактами біля 2 мм як до спрацювання, так і після спрацювання реле. Особлива увага потрібно звернути на те, щоб контактний місток не міг одночасно торкатися

верхнього і нижнього контактів. При знаходженні містка у верхньому або нижньому замкненому положенні відстань між контактним містком і протилежними контактами повинна бути не менше за 2 мм.

Стан ізоляції всіх кіл реле перевіряють відносно корпусу і між окремими колами відповідно до загальної інструкції по випробуванню ізоляції кіл вторинної комутації.

Перевірка і регулювання електричних характеристик реле здійснюється в наступному об'ємі:

- визначення струму спрацювання і повернення;
- визначення коефіцієнта повернення;
- випробовування роботи на вибраній уставці;
- вимірювання потужності, споживаної реле;
- перевірка надійності роботи контактів.

А. Величину струму спрацювання і повернення визначають на всьому діапазоні шкали реле у відповідності зі схемою, представленою на рисунку 1.4.

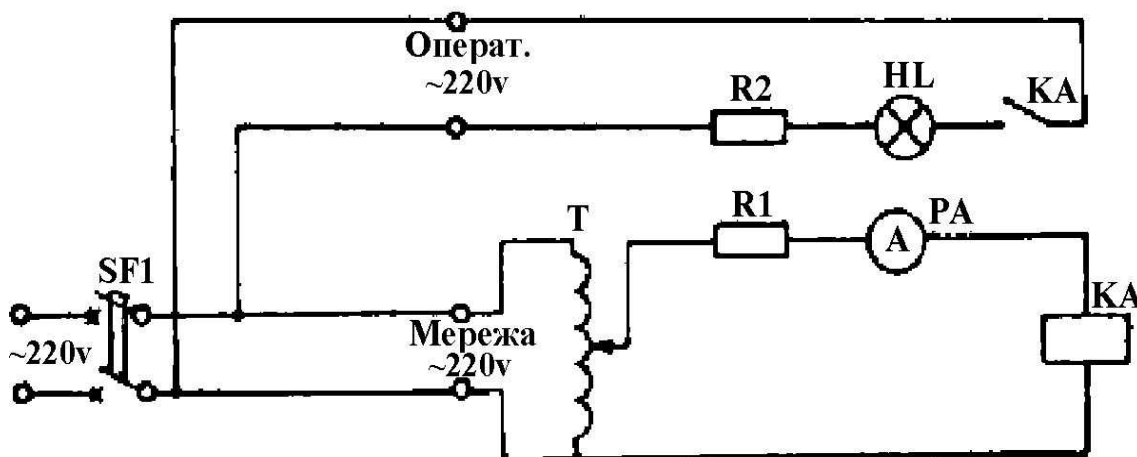


Рисунок 1.4 – Схема визначення електричних характеристик реле

Струм спрацювання і повернення визначається не менш трьох разів на кожній уставці шкали. При цьому перевіряється розкид параметрів.

Розкид отриманих величин не повинен перевищувати 5% середнього значення. Потрібно також враховувати, що вибрана уставка не повинна знаходитися в першій третині шкали.

У тих випадках, коли розкид струму спрацювання перевищує 5%, необхідно проконтролювати поведінку контактного містка якоря. У справному стані реле при повороті показчика приблизно на 25-30% ліворуч від першої точки шкали пружина реле повинна повністю розкрутитися. При цьому досить повернути показчик на 1-2°, щоб місток вільно змінив своє положення, замикаючи або розмикаючи контакти.

Млявий або навпаки різкий перехід контактного містка з одного положення в інше вказує на наявність затирання рухомої системи. Найбільш вірогідною причиною млявої роботи є забруднення або дефекти підшипників і

кінців осей. Таким чином, перед регулюванням необхідно обстежити стан підп'ятників за допомогою лупи. У разі виявлення вибоїн, ексцентриситету або вироблення кратера підп'ятник потрібно замінити на новий.

Через часову лупу також оглядають кінці осі реле, звертаючи при цьому увагу на стан вершин конуса заточування осі і на відсутність вибоїн, дряпин і іржі на її кінцях. Вісь повинна бути заточена на обох кінцях на конус, кінці повинні мати блискучу поліровану поверхню. Заточування не повинне бути дуже гострим. Кут конуса осі повинен бути гостріше за кратер підп'ятників, щоб вісь спиралася на підп'ятник в одній точці, а не по всьому колу. Виявлені дефекти потрібно усунути, а після зборки реле знову перевірити величини струму спрацювання і повернення на всьому діапазоні шкали реле.

Б. Коефіцієнт повернення визначають за даними вимірювання струму спрацювання і повернення по формулі

$$K_{нов} = \frac{I_{нов}}{I_{сп}}.$$

Коефіцієнт повернення повинен бути не менше за 0,86 для максимального реле і не вище за 1,2 для реле мінімального. Якщо коефіцієнт повернення виявився нижче допустимого, то необхідно ввести якір глибше під полюси, для чого у втягнутому положенні якоря потрібно подати уперед правий установчий гвинт. Підвищити коефіцієнт повернення можна також збільшенням повітряного зазору між пелюстками якоря і полюсами магнітопроводу акуратним підгинанням пелюсток всередину.

Після проведення такої роботи потрібно знову перевірити і відрегулювати струм спрацювання, оскільки при збільшенні повітряного зазору струм спрацювання реле зростає.

В. Випробовування роботи реле на вибраній установці проводять по схемі рисунок 1.4 триразовим вимірюванням струму уставки. При помічених недоліках необхідно провести додаткове регулювання.

Г. Потужність, споживана обмоткою реле, визначають по схемі (рис. 1.5).

Д. Перевірку роботи контактів реле проводять по схемі рисунку 1.6. При перевірці струм в обмотці реле плавно, але швидко підвищують від величини, рівної 1,05 струму спрацювання, до найбільшого можливого значення вторинного струму короткого замикання.

Лампа при всіх значеннях струму повинна горіти рівним світлом без мигання і погасання. Вібрація або іскріння контактів при цьому мають бути відсутнім.

Для усунення іскріння при малих кратностях струму потрібно зменшити жорсткість контактних пружин (вальцюванням) або зменшити в допустимих межах кут зустрічі контактів.

При великих кратностях струму вібрація і іскріння усуваються зміною в невеликих межах кінцевого положення якоря під полюсами, для чого якір вводиться глибше під полюси і збільшується жорсткістю контактних пружин.

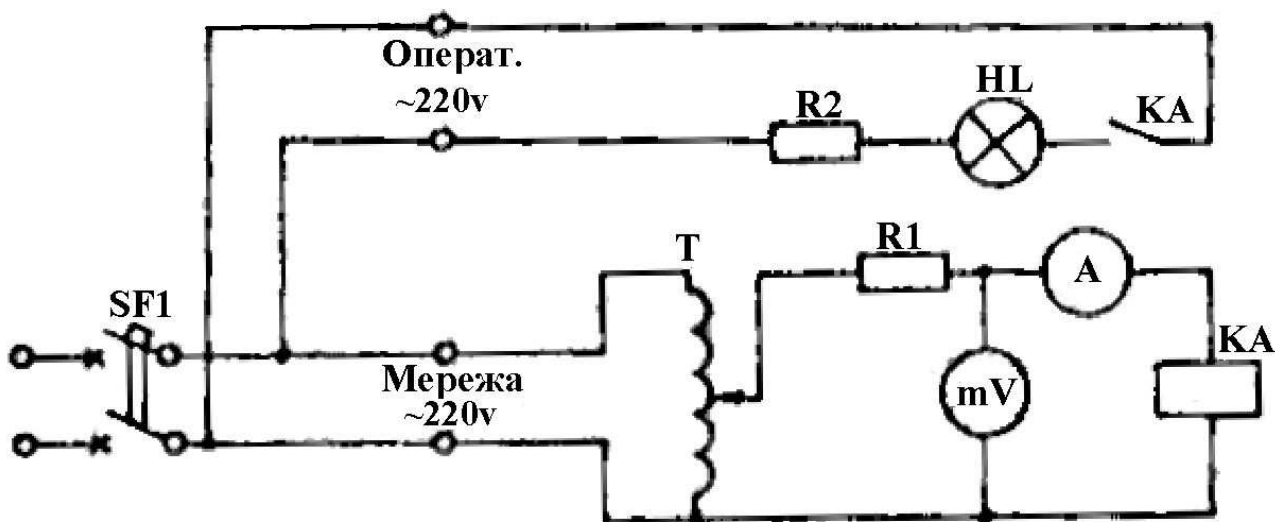


Рисунок 1.5 – Схема визначення споживаної потужності реле

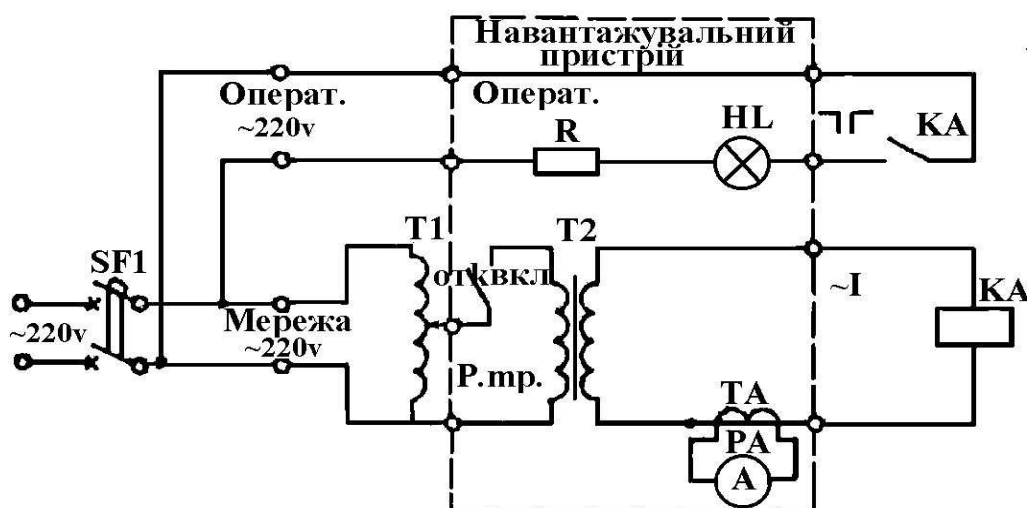


Рисунок 1.6 – Схема перевірки надійності роботи контактів

4 Програма роботи

1. Вивчити принцип дії, конструкцію і технічні характеристики реле типу РТ-40, зафіксувати його паспортні дані.
- 2.Зробити зовнішній огляд реле.
- 3.Перевірити і відрегулювати механічну частину і контакти реле.
- 4.Підібрати апаратуру і зібрати випробувальну схему для перевірки електричних характеристик реле (рис. 1.4):
 - визначити значення струму спрацювання і повернення на всьому діапазоні шкали реле (перевірити шкалу уставок). При необхідності зробити регулювання;
 - за даними попереднього пункту визначити коефіцієнт повернення, розкид і погрішності реле;

- зібрати схему (рис. 1.5) і визначити споживану потужність і опір обмотки реле при мінімальній уставці;
 - випробувати реле на заданій уставці.
- 5.Зібрати схему (рис. 1.6) і перевірити надійність роботи контактів реле.
- 6.Скласти протокол перевірки технічних характеристик реле типу РТ-40.
- 7.Оформити звіт по лабораторній роботі.

5 Вказівки по виконанню роботи

Перед початком роботи необхідно:

1. Вивчити принцип дії і пристрій реле типу РТ-40, а також зміст і технологію перевірки його технічних характеристик.
2. Вивчити контрольно-вимірювальну і випробувальну апаратуру, що використовується при перевірці вимірювального реле типу РТ-40.
3. Підготувати звіт по лабораторній роботі, в якому повинні бути відображені мета і програма роботи, робочі схеми контролю і випробування, а також схеми і технічні характеристики апаратури, що використовується при перевірках

Робочі схеми складаються на основі типових схем випробування, приведених в роботі, з урахуванням принципових і монтажних схем лабораторної установки.

У процесі роботи слід:

- 1) уточнити програму роботи, а також можливі зміни в складі контрольно-вимірювальної і випробувальної апаратури.
- 2) Виконати передбачені програмою роботи. Послідовність і методика окремих операцій приведені в розд.3.

По закінченні роботи зробити необхідні обчислення; оформити формалізований протокол випробування електромагнітного реле (приведений нижче), завершити оформлення звіту по лабораторній роботі.

6 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній формі і містити собі мету роботи та її зміст з поясненням кожного з пунктів програми роботи. У звіті належить відобразити схеми і ескізи, що пояснюють принцип дії і конструкцію реле типу РТ – 40, способи формування уставок спрацювання реле, методику визначення струму спрацювання і повернення реле, параметри, що визначають технічний стан реле. У звіті повинні бути наведені відповіді на поставлені в роботі контрольні питання.

7. Контрольні питання

1. Які реле називають електромагнітними
2. Які конструкції електромагнітних реле ви знаєте?

3. Назвіть основні вузли конструкції електромагнітних реле.
4. Наведіть формулу залежності обертаючого моменту електромагнітного реле від струму в обмотці.
5. Яку величину називають струмом спрацювання електромагнітного реле?
6. Перелічите способи регулювання уставок реле типу РТ-40.
7. Яку величину називають коефіцієнтом повернення?
8. Приведіть перелік операцій по контролю технічного стану реле типу РТ-40.
9. З якою метою при контролі реле обчислюють коефіцієнт повернення?
10. Які властивості реле характеризують коефіцієнтом повернення?
11. Який за величиною коефіцієнт повернення повинен бути в електромагнітному реле типу РТ – 40 і чому?
12. Які елементи конструкції реле типу РТ-40 призначені для регулювання уставок?
13. Наведіть перелік основних технічних характеристик реле типу РТ-40.
14. Для чого призначено барабанчик на осі якоря реле типу РТ-40?
15. Яку функцію в реле типу РТ-40 виконує спіральна пружина?
16. Наведіть формулу, що відображає умови спрацювання електромагнітних реле.
17. Перелічіть способи підвищення коефіцієнта реле типу РТ-40.
18. Для якої мети призначені дві полуобмотки в конструкції реле типу РТ-40?
19. Яку величину називають струмом повернення електромагнітного реле типу РТ-40?
20. Якими способами можна досягти зниження надмірного моменту?

8 Формули, використані при розрахунках:

Коефіцієнт повернення визначають за даними вимірювання струму спрацювання і повернення за співвідношенням:

$$k_{нов} = \frac{I_{нов}}{I_{спр}}.$$

Розкид визначають за співвідношенням:

$$РОЗКИД = \frac{I_{спр} - I_{нов}}{I_{нов}}.$$

ПРОТОКОЛ
випробування реле

Тип реле _____
Завод виготовник _____
Зав.№ _____
Рік виготовлення _____
З'єднання обмоток _____
Місце установки _____

1 ЗОВНІШНІЙ ОГЛЯД

Зовнішнім оглядом _____

2 ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК

Номер з/п	Струм спрацювання	Струм повернення	Коефіцієнт повернення	Розкид
Уставка ____ А				
1				
2				
3				

3 ПЕРЕВІРКА ВІБРАЦІЇ КОНТАКТІВ

Перевірка проводилася струмом від ____ А до ____ А на уставці ____ А

Вібрація не спостерігалася /спостерігалася / _____

4 ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ

Опір ізоляції обмоток _____ МОм, контактів _____ МОм

ВИСНОВОК:

Реле типу _____ зав.№ _____ для експлуатації _____

Перевірку проводив(ла) _____ / _____ /

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНДУКЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РЕЛЕ СТРУМУ

1. Мета роботи

1. Вивчення принципу дії індукційних реле та їх місце у схемах захисту і автоматики підстанцій.
2. Дослідження особливостей конструкції індукційних вимірювальних реле струму типу РТ-80.
3. Засвоєння головних електричних характеристик вимірювальних реле струму типу РТ-80 та методики їх визначення.
4. Дослідження надійності роботи вимірювальних реле струму типу РТ-80.

2. Загальні положення

Індукційними називаються реле, в яких обертаючий момент, діючий на рухому систему, виникає в результаті взаємодії магнітних потоків, що змінюються в часі, з струмами, індукованими цими потоками в цій частині реле. Тому на індукційному принципі може виконуватися реле тільки змінного струму.

У пристроях релейного захисту споживачів найбільш поширені вимірювальні струмові реле типу РТ-80.

Реле цієї серії за принципом дії є комбінованим, тобто складається з двох основних елементів: індукційного, утворюючого обмежено залежну характеристику витримки часу від струму в обмотці реле, і електромагнітного, що забезпечує миттєве спрацювання ("відсічку") при відповідних кратностях струму в обмотці. Обидва елементи виготовляють з використанням загальної магнітної системи.

Основними органами індукційного елемента є електромагніт 1 (рис. 2.1) і диск, що обертається на осі 2. На нижньому і верхньому полюсах електромагніту закріплені короткозамкнені мідні витки (екрани) 3, що охоплюють частину перерізу магнітопроводу.

Магнітний потік Φ_{p1} , що проходить через екрановану короткозамкненим витком частину полюса, наводить у ньому ЕРС

$$E_K = -j \cdot \omega \cdot \Phi_{p1},$$

що відстає від основного потоку на кут 90° .

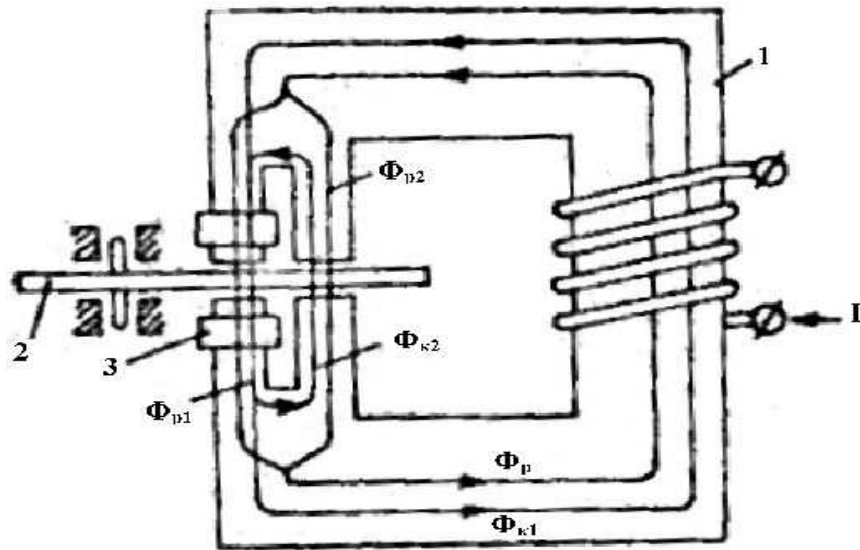


Рисунок 2.1 – Спрощена схема індукційного елемента реле типу РТ-80

Оскільки індуктивність короткозамкненого витка невелика, можна вважати, що струм у ньому визначається активною провідністю g_k і, отже, співпадає за фазою з ЕРС:

$$I_K = -j \cdot g_k \cdot \omega \cdot \dot{\Phi}_{p1}.$$

Цей струм утворює свій магнітний потік $\dot{\Phi}_k$, який підсумовується з відповідними частинами основного магнітного потоку $\dot{\Phi}_{p1}$ і $\dot{\Phi}_{p2}$. Отже, з-під перерізу полюса, охопленого короткозамкненим витком, вийде результуючий потік

$$\dot{\Phi}_1 = \dot{\Phi}_{p1} + \dot{\Phi}_{k1},$$

а з-під перерізу другої частини полюса

$$\dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_{p2} - \dot{\Phi}_{k2}.$$

Таким чином, при протіканні струму в обмотці реле під його полюсами виникають два магнітних потоки, які зсунуті відносно один одного в просторі і по фазі.

З теоретичних основ електротехніки відомо, що, якщо під полюсами електромагніту змінного струму помістити провідник, що обтикається змінним струмом, то, при умові однорідності поля, на нього буде впливати змінна сила, миттєве значення якої

$$F = L_n \cdot B(t) \cdot I(t) = L_n \cdot B \sin(\omega \cdot t) \cdot I \cdot \sin(\omega \cdot t - \psi),$$

де L_n – довжина провідника;

B – амплітудне значення магнітної індукції змінного поля між полюсами;

I – амплітудне значення сили струму в провіднику;

ψ – кут зсуву фаз між струмом у провіднику і індукцією магнітного поля в зазорі.

Рухому систему індукційного елемента реле струму виконують у вигляді алюмінієвого диска, частина якого знаходиться між полюсами електромагніту. Магнітний потік у зазорі між полюсами перетинає диск і наводить в ньому ЕРС, яка відстає за фазою від потоку на кут 90^0 . У свою чергу, наведена ЕРС викликає в диску вихровий струм, магнітне поле якого, взаємодіючи з основним потоком, приводить до появи відштовхуючої сили. Оскільки рухома частина реле виконана обертаємою, то зручніше силу, діючу на диск, замінити на відповідні значення моменту обертання.

З теорії індукційних приладів відомо, що обертаючий момент $M_{обер}$, діючий на диск, можна подати у такому вигляді

$$M_{обер} = K \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \psi,$$

де ψ – кут зсуву між магнітними потоками Φ_1 і Φ_2 ;

K – коефіцієнт пропорційності, що враховує матеріал диска, його геометричні розміри, площу полюса електромагніту і т. ін.

Оскільки в ненасиченій магнітній системі величини потоків Φ_1 і Φ_2 пропорційні величині струму, що проходить через обмотку реле, а кут ψ має постійну величину, то можна уявити, що

$$M_{обер} = K \cdot I^2.$$

Якщо надати диску можливість вільного обертання під дією робочого обертаючого моменту, то в ньому виникне гальмуючий момент за рахунок індуктованих ЕРС різання $E_{риз}$, зумовлених перетином диском магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 . У свою чергу, ЕРС різання спричиняє появу в диску струмів різання $I_{риз}$, які перешкоджають, згідно із законом Ленца, обертанню диска. Цей гальмуючий момент отримав назву моменту різання $M_{риз}$.

Для додаткового обмеження швидкості обертання диска його край вміщують між полюсами спеціально встановленого постійного магніту 2.

Гальмуючий момент M_z , що з'являється при цьому і діє на диск, який обертається, визначають рівнянням

$$M_z = K_z \cdot \omega_q \cdot M_z^2,$$

де K_z – коефіцієнт пропорційності;

ω_q – швидкість обертання диска;

Φ_z – гальмуючий магнітний потік, викликаний струмом різання.

Деяке гальмування диска відбувається також за рахунок сил тертя в підшипниках рухомої системи, та в зубчастих і черв'ячних передачах.

Крім того, при обертанні рухомої частини виникають також сили інерції, які визначають момент інерції M_i , що перешкоджає робочому моменту

$$M_i = -I \cdot E,$$

де I – момент інерції рухомої системи відносно осі обертання;

E – кутове прискорення рухомої системи.

З урахуванням сказаного можна вважати, що на рухому частину реле діє

робочий і протидіючий моменти обертання, що пов'язані між собою рівнянням

$$M_{\text{різ}} + M_z + M_i = M_p.$$

Слід мати на увазі, що зі збільшенням струму в обмотці електромагніту відбувається насичення магнітопроводу, і пряма пропорційність між величиною струму в обмотці і потоками Φ_1 і Φ_2 порушується. При подальшому збільшенні струму в обмотці реле відносно уставки (при великих кратностях струму) обертаючий момент і швидкість обертання диска взагалі перестають зростати і, таким чином, струмочасова характеристика реле $t = f(I)$ набуває обмежено залежного характеру.

Індукційний елемент реле (рис. 2.2) складається з електромагніту 18 з короткозамкненими витками на полюсах 19. Обмотка 20 електромагніту має декілька відгалужень для регулювання струму спрацювання, які підведені до гнізд штепсельного містка 21. Між полюсами електромагніту розташований алюмінієвий диск 1, вісь якого закріплена на рухомій рамці 6. Рамка має свою нерухому вісь обертання 7. При струмах в обмотці реле 20, які менші струму спрацювання індукційного елемента рамка 6 відтягнута пружиною 10 у крайнє положення. При цьому черв'як 3, насаджений на вісь диска 4, не зчеплений із зубцями сегмента 17, який має нерухому вісь обертання і може вільно пересуватися вгору і вниз. Нижнє положення сегмента фіксується пристроєм, що регулює витримку часу. Цей пристрій складається з регулювального гвинта 22 і движка 13. При переміщенні вгору сегмент 17 своїм важелем підіймає коромисло 14, яке замикає контакти реле 16.

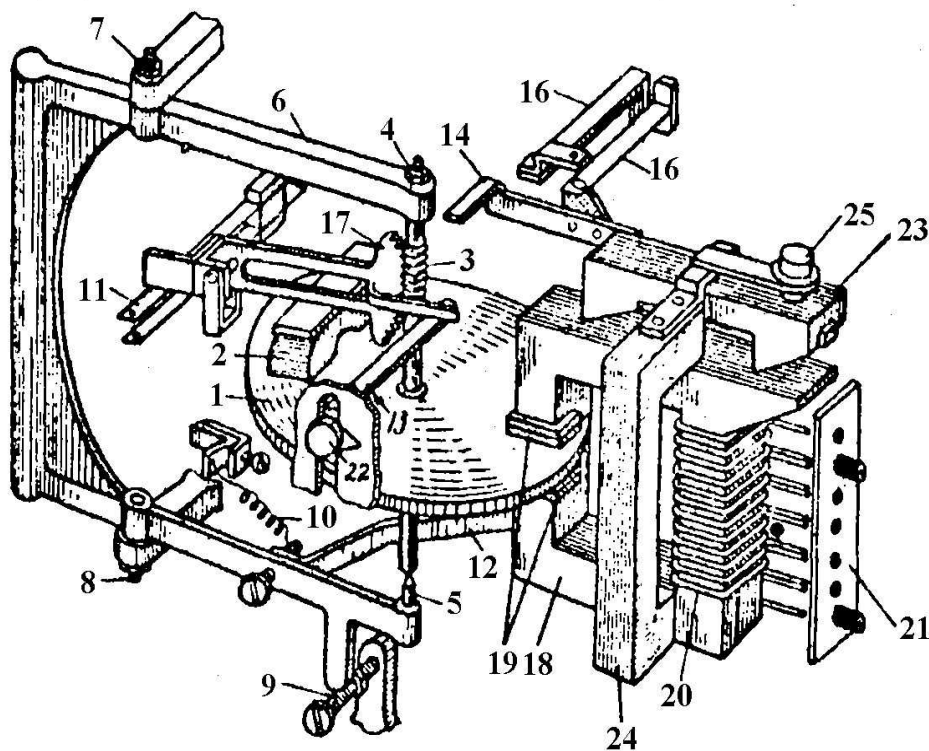


Рисунок 2.2 – Будова реле типу РТ-80

При струмі, рівному 10-29% струму спрацювання індукційного елемента

реле, диск починає обертатися. Однак при такому обертанні спрацювання реле не відбувається.

Крім обертаючого моменту на диск діє також протидіюча сила F_z , що визначає гальмуючий момент. Як було показано вище, ця сила пропорційна швидкості обертання диска, отже, зі збільшенням струму в обмотці, нарівні із зростанням обертаючого моменту зростає і момент гальмування. Стала швидкість обертання диска визначається рівновагою цих моментів (при збільшенні струму диск буде прискорювати обертання доти, поки обидва моменти не зрівняються). У той же час рівнодіюча сил прагне повернути диск разом з рамкою навколо осі рамки 7, чому перешкоджає протидіюча сила пружини F_n .

Струмом спрацювання індукційного елемента називають такий мінімальний струм в обмотці реле, при якому сила F долає протидіючу силу пружини 10 і рамка разом з диском повертається, приводячи черв'як 3 в зчеплення із зубчатим сегментом 17. При цьому, завдяки обертанню диска, черв'як підіймає вгору зубчатий сегмент. При пересуванні сегмента важіль стикається з коромислом електромагніту і підіймає його вгору. Внаслідок цього якір 23 повертається на своїй осі таким чином, що повітряний зазор між електромагнітом і правою стороною якоря меншає і він швидко притягується до електромагніту, замикаючи робочі контакти реле за допомогою коромисла. У процесі роботи індукційного елемента при наявності зчеплення між черв'яком і сегментом на диск, що обертається, крім розглянутих сил, діє також сила, зумовлена тертям у черв'ячній передачі та власною вагою сегмента. Ця сила виникає відразу, як тільки станеться зчеплення черв'яка з сегментом. При цьому швидкість обертання диска і результуюча сила F меншає, що може призвести до розчеплення черв'ячної передачі. Для запобігання розчепленню служить стальна дужка 12, яка за рахунок потоків розсіяння забезпечує додаткове зусилля, що утримує рухоми рамку в притягнутому стані.

Час від моменту зчеплення черв'яка із зубчатим сегментом до моменту замикання контактів називають часом спрацювання реле. Цей час при заданій уставці залежить тільки від швидкості підйому сегмента вгору, яка визначається швидкістю обертання диска, тобто величиною струму в обмотці. Таким чином, чим більше струм, тим більше швидкість обертання диска і швидкість підйому сегмента, тим менше витримка часу реле.

При струмі реле, недостатньому для подолання дії протидіючої пружини, рамка повертається в початкове положення. Значення струму, при якому це відбувається, називають струмом повернення.

Магнітна система реле РТ-80 виконана таким чином, що приблизно при десятиразовому струмі спрацювання відбувається її насичення і при подальшому збільшенні магнітний потік вже не збільшується. Отже, обертаючий момент, швидкість обертання диска, а значить і витримка часу в цьому випадку залишаються постійними. Таким чином, реле типу РТ-80 має обмежено залежну струмочасову характеристику. Конструктивно реле виконують так, щоб його витримка часу залежала від відстані, яку долає

сегмент при переміщенні по черв'яку. Довжина цієї відстані визначається початковим положенням сегмента, яке можна регулювати переміщенням спеціального гвинта. Завдяки цьому для одного і того ж реле можуть бути отримані різні струмочасові характеристики (рис. 2.3).

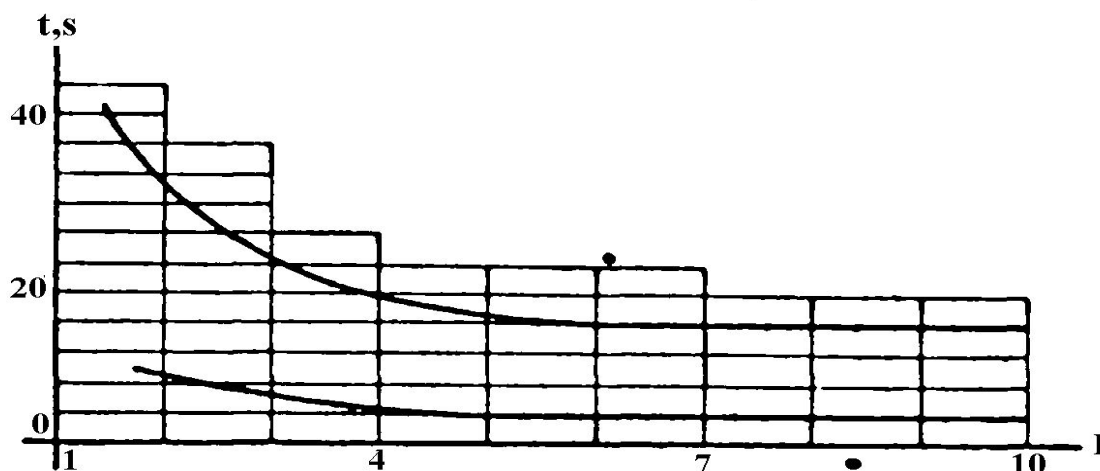


Рисунок 2.3 – Струмочасова характеристика реле

Струм спрацювання індуктивного елемента регулюють зміною числа витків обмотки за допомогою штепселя 21, який включають в те або інше гніздо штепсельного містка. Електромагнітний елемент реле, що виконує роль миттєвої струмової відсічки, складається з сталюого якоря 23, який має на лівому кінці коромисло 14, і замикаючого стержня, який разом з якорем утворить магнітопровід 24 електромагнітного елемента. На якір діють потоки розсіяння електромагніту. При струмах, що перевищують струм спрацювання електромагнітного елемента, якір притягується і коромислом миттєво замикає контакти. Струм спрацювання електромагнітного елемента регулюють зміною числа витків обмотки і зміною повітряного зазору між електромагнітом і правою стороною якоря за допомогою регулювального гвинта 25. Регулювати струм відсічки можна в межах від 2 до $8 I_{сп}$ індукційного елемента.

Використання в одному реле індукційного і електромагнітного елементів, а також застосування в індукційному елементі черв'ячної передачі і постійного магніту для створення протидіючої сили дозволяють виконати реле з надійною контактною системою з коефіцієнтом повернення, не менше за 0,8 і з малою інерційною помилкою.

Коефіцієнт повернення індукційного елемента регулюють зміною глибини зачеплення черв'ячної передачі. На коефіцієнт повернення впливає також положення сталюї скоби. Глибина зачеплення визначається кутом повороту пересувної рамки, який регулюють обмежувачем.

У порівнянні з електромагнітним струмовим реле типу РТ-40 індукційне реле струму споживає значно більшу потужність і має більш високий опір обмоток. Якщо обмотки реле підключити до малопотужного джерела струму, то можливо значне спотворення форми кривої струму і неправильна дія

струмової відсічки. Тому при налагодженні реле струм спрацювання відсічки слід регулювати за допомогою потужного джерела струму синусоїдальної форми.

Технічні характеристики реле струму типу РТ-80

Індукційне реле максимального струму типу РТ-80 призначене для захисту електроустановок змінного струму при перевантаженнях і коротких замиканнях. Реле випускають в дванадцяти різних виконаннях. Коротка характеристика реле приведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики реле типу РТ-80

Тип реле	Номинальний струм, А	Уставка струму спрацювання індукційного елемента, А	Уставка часу спрацювання, с	Кратність струму
РТ81/1	10	4; 5; 6; 8; 9; 10	0,5 - 4 2 - 16	2 - 8
РТ81/2	5	2; 4; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5		
РТ82/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10		
РТ82/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5		
РТ83/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1 - 4	2 - 8
РТ83/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5		
РТ84/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4 - 16	2 - 8
РТ84/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5		
РТ85/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	0,5 - 4	2 - 8
РТ85/2	8	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5		
РТ86/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10		
РТ86/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5		

Струм початку обертання диска складає не більше за 30% струму спрацювання індукційного елемента.

Похибка струму спрацювання індукційного елемента відносно уставки не більше 5%, розкид струму спрацювання – не більше 4%.

Похибка струму спрацювання відсічки при уставках індукційного елемента 4А (для реле з $I_{ном} = 10А$) і 3А (для реле з $I_{ном} = 5А$) не більше 30%.

Відхилення часу спрацювання індукційного елемента від уставки при чотирьохкратному струмі уставки неї повинне перевищувати величин, приведених в таблиці 2.2.

Розкид часу спрацювання при 1,5-кратному струмі уставки не перевищує 1с для чотирьохсекундних реле і 2с – для шестисекундних.

Споживана потужність на струмах уставки – не більше 10ВА.

Коефіцієнт повернення реле – не менше 0,8.

Таблиця 2.2 – Допустиме відхилення часу спрацювання індукційного реле

Тип реле	Уставка часу спрацювання, с							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	8,0	12	16
РТ-81	0,9	1,65	3,1	4,6	6,0	-	-	-
РТ-83								
РТ-85								
РТ-82	-	-	3,6	-	6,6	12,6	18,5	24
РТ-84								
РТ-80								

3 Методика контролю технічних характеристик вимірювального реле типу РТ-80

Як при новому включенні, так і при планових перевірках контроль технічного стану реле здійснюється в наступному об'ємі:

- зовнішній огляд;
- перевірка і регулювання механічної частини і контактів реле;
- перевірка стану ізоляції реле;
- перевірка і регулювання електричних характеристик реле.

1.Зовнішній огляд. Проводиться перед розкриттям реле. при зовнішньому огляді перевіряють справність кожуха реле, а також надійність ущільнень, що забезпечують пило- і вологонепроникність. Всі контактні виводи не повинні мати ознак окислення, наконечники проводів повинні бути надійно припаяні, а гайки туго затягнуті.

2.Перевірка механічної частини реле:

а) контролюється щільність шихтовки стали магнітопроводів і стан поверхні полюсів електромагніту. Зазор між полюсами і диском не повинен перевищувати 0,3 мм з кожної сторони і має залишатися незмінним при повороті диска на повний оборот;

б) визначається стан обмотки реле і всіх струмопроводів. Ізоляція їх не повинна мати механічних пошкоджень, слідів підгару і т.п.;

в) перевіряється правильність кріплення постійного магніту. При правильному його положенні край диска не повинен виступати з-під зовнішньої грані його полюса;

г) перевіряється наявність і величини люфта осей. Вільний хід у вертикальному напрямі не повинен перевищувати 1мм у рамки і 0,5 мм у диска. Вільний хід в осьовому напрямку у якоря повинен бути в межах 0,1-0,2мм, у сектора – не більше за 0,5 мм. При повороті рамки від руки сектор повинен входити в зачеплення з черв'яком при будь-якому положенні покажчика витримки часу. Якір відсічки повинен повертатися без тертя і мати осьовий люфт 0,1-0,2мм;

д) перевіряється стан регулювальних гвинтів. Гвинти повинні вільно і без перекосу обертатися в своїх гніздах;

е) визначається стан підп'ятників, для чого збирається схема (рис. 2.4). При плавному збільшенні струму в реле визначається таке значення, при якому диск починає обертатися, не будучи зчепленим з сектором. Згідно із заводськими інструкціями струм вільного обертання диска не повинен перевищувати значень, приведених в таблиці 2.3.

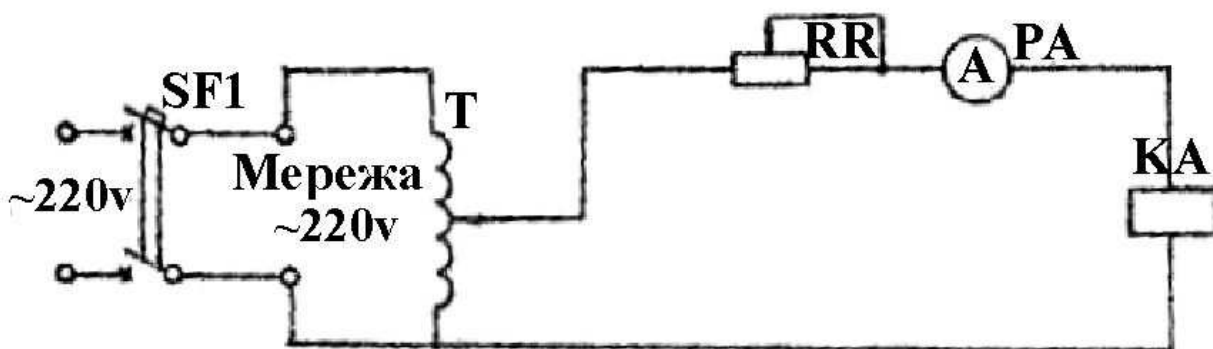


Рисунок 2.4 – Схема визначення струму почала обертання диска

Таблиця 2.3 – Струм початку обертання диска

Тип реле	Струм уставки індукційного елемента, А	Струм початку обертання диска
РТ-80/1	4	1,0
РТ-80/2	2	0,5

Якщо диск починає обертатися при струмах, що перевищують значення, вказані в таблиці 2.3, необхідно перевірити стан верхнього і нижнього підп'ятників і кульки, запресованого в осі диска.

Для огляду підп'ятників необхідно, ослабивши зміцнюючу гайку, вивернути підп'ятник і, ретельно протерши, оглянути його через лупу п'ятишестикратного збільшення. Робочі поверхні не повинні мати вибоїн і подряпин. При виявленні дефектів підп'ятник підлягає заміні.

Для огляду кульки необхідно вивернути обидва підп'ятника і зняти шкалу реле. Робочі поверхні кульки також не повинні мати вибоїн і подряпин. При виявленні дефектів кулька підлягає заміні. Якщо рамка має м'який хід або відбувається затирання в осі, аналогічному огляду зазнають підп'ятники і осі рамки. Для зняття рамки необхідно вийняти диск і нижній підп'ятник рамки, потім, звільнивши пружину, подати рамку праворуч і вивести палець з упора. Далі, опустивши рамку нижче верхнього підп'ятника, легко вийняти її в ліву сторону;

ж) перевіряється надійність зачеплення черв'ячної передачі. Для цього, встановивши витримку часу 1 с, рамку повертають на себе до зчеплення зубчатого сектора з черв'яком. Глибина зачеплення повинна бути такою, щоб

між зубцями сектора і різьбленням черв'яка після зачеплення зберігся невеликий зазор. Нормальна глибина зачеплення повинна становити $1/3$ глибини різьблення черв'яка. При порушенні глибини зачеплення її регулюють зміною положення дужки. Для цього її пересувають в овальних отворах приливу. Остаточно зачеплення регулюють установчим гвинтом;

з) перевіряється наявність і стан салазок, що оберігають контакти від торкання з кожухом;

к) визначається стан і регулюються контакти. Відстань між замикаючими контактами повинна бути не менше за 3мм. При спрацюванні реле із замикаючими контактами або в режимі спокою реле з розмикаючими контактами нерухомі контакти повинні прогинатися до 0,8-1мм. У сигнальних контактів реле зазор повинен складати не менше за 1,5 мм.

Контакти повинні мати сферичну форму, а їх поверхня повинна бути чистою, не мати вибоїн і подряпин. Брудні контакти і контакти, що підгоріли треба зачистити дрібним надфілем і відполірувати воронилом.

3. Перевірка і регулювання електричних характеристик реле. Здійснюється у такому об'ємі:

- перевірка струму спрацювання електромагнітного елемента;
- визначення струму спрацювання і повернення індукційного елемента;
- обчислення коефіцієнта повернення індукційного елемента;
- визначення струмочасової характеристики;
- перевірка надійності роботи контактів.

А. Перевірку і регулювання струму спрацювання (відсічки) електромагнітного елемента на робочій устатці проводять по схемі, представленій на рисунку 2.5, в наступній послідовності:

- встановлюють необхідну уставку; при цьому рамку утримують рукою у відведеному стані;
- у вимірювальній схемі встановлюють струм, відповідний струму уставки реле, а потім цей струм відключають;
- рамку реле відпускають і реле накривають кожухом;
- через кожні 5 с подають струм в обмотку реле поштовхами, кожний раз трохи знижуючи струм доти, поки відсічка не перестане спрацьовувати;
- уточнивши величину струму по амперметру, подають цей струм трьома короткими включеннями і, якщо при цьому відсічка спрацює все 3 рази, фіксують отримане значення струму в протоколі, в іншому випадку необхідне додаткове регулювання.

У разі значного розходження отриманих значень струму відсічки від результатів вимірювань, отриманих при попередніх випробуваннях, необхідно звільнити гвинт кріплення шкали відсічки і поворотом регулювальної головки встановити необхідну кратність.

Б. Струм спрацювання і повернення індукційного елемента перевіряють на робочій устатці по схемі, представленій на рисунку 2.5. Починаючи від 0,5 струму робочої установки, плавно збільшують струм в реле до величини струму спрацювання. При розходженні струму спрацювання з струмом робочої уставки більш ніж на 3% необхідно провести регулювання зміною натягнення пружини.

Величина струму повернення може визначатися двома способами: при плавному зниженні струму в реле в момент підходу важеля сектора майже впритул до коромисла відсічки, коли в зчепленні знаходяться всі витки черв'яка, або при зменшенні струму поштовхом до величини струму повернення при такому ж положенні важеля сектора.

В. Перевірку і регулювання коефіцієнта повернення реле проводять по схемі рисунку 2.5. Коефіцієнт визначають відношенням струму, при якому відбувається розчеплення черв'яка і зубчатого сегмента, до струму, при якому відбувається зачеплення цих елементів:

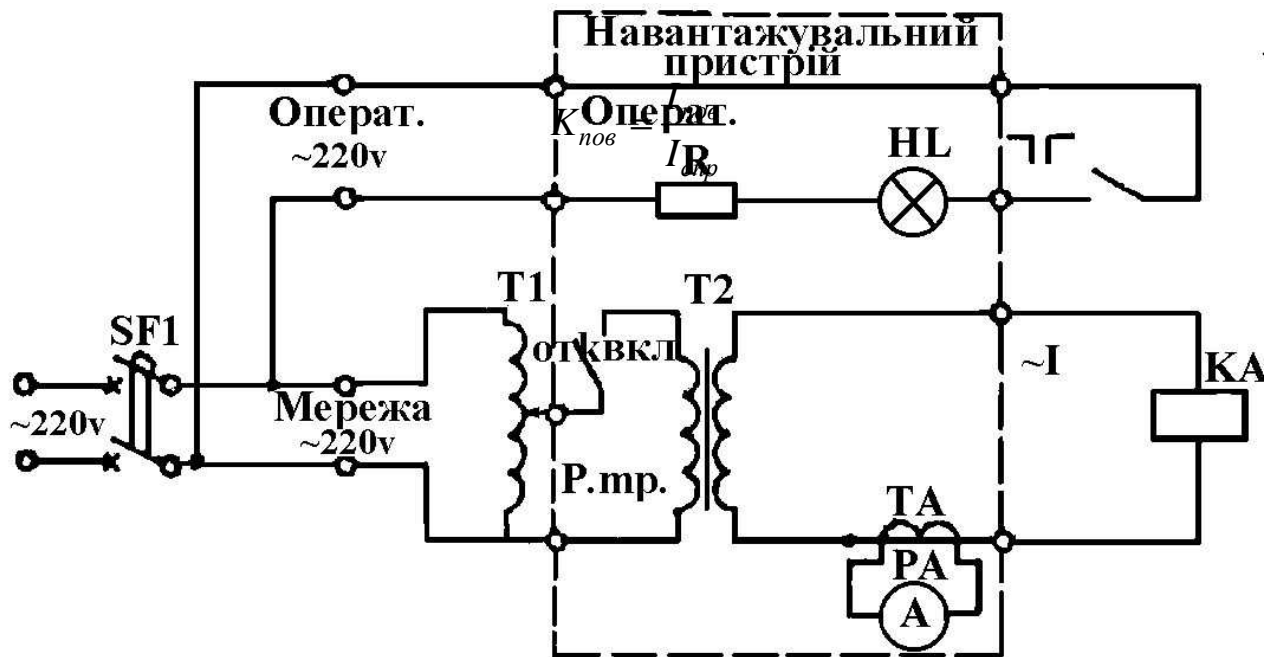


Рисунок 2.5 – Схема перевірки електричних характеристик реле

У нормально відрегульованих контактів $K_{нов} = 0,8$ при визначенні струму повернення поштовхом і $K_{нов} = 0,84 \div 0,87$ при плавному зменшенні струму. Якщо коефіцієнт повернення виявиться нижче необхідної величини, то потрібно перевірити можливість зменшення глибини зачеплення черв'ячної передачі.

Якщо глибина зачеплення нормальна і зменшити її не можна, то коефіцієнт повернення можна підвищити, відгинаючи сталю скобу рамки від магнітопроводу. На закінчення необхідно перевірити роботу черв'ячної передачі (сектор не повинен зіскакувати при початку підйому коромисла відсічки), а також ще раз перевірити струм спрацювання і, якщо він змінився, відрегулювати його зміною натягнення пружини.

Г. Характеристики часу спрацювання реле на робочих уставках знімаються по схемі, представлений на рис. 2.6, і порівнюють з типовими.

Характеристику знімають до незалежної частини характеристики ($8 \div 10$) струму уставки. Для кожної точки робиться три відліки і фіксується середнє значення з показань секундоміра. Звичайно витримку часу вимірюють при 5-6 значеннях струму, в тому числі при струмі спрацювання і заданих значеннях струму відсічки.

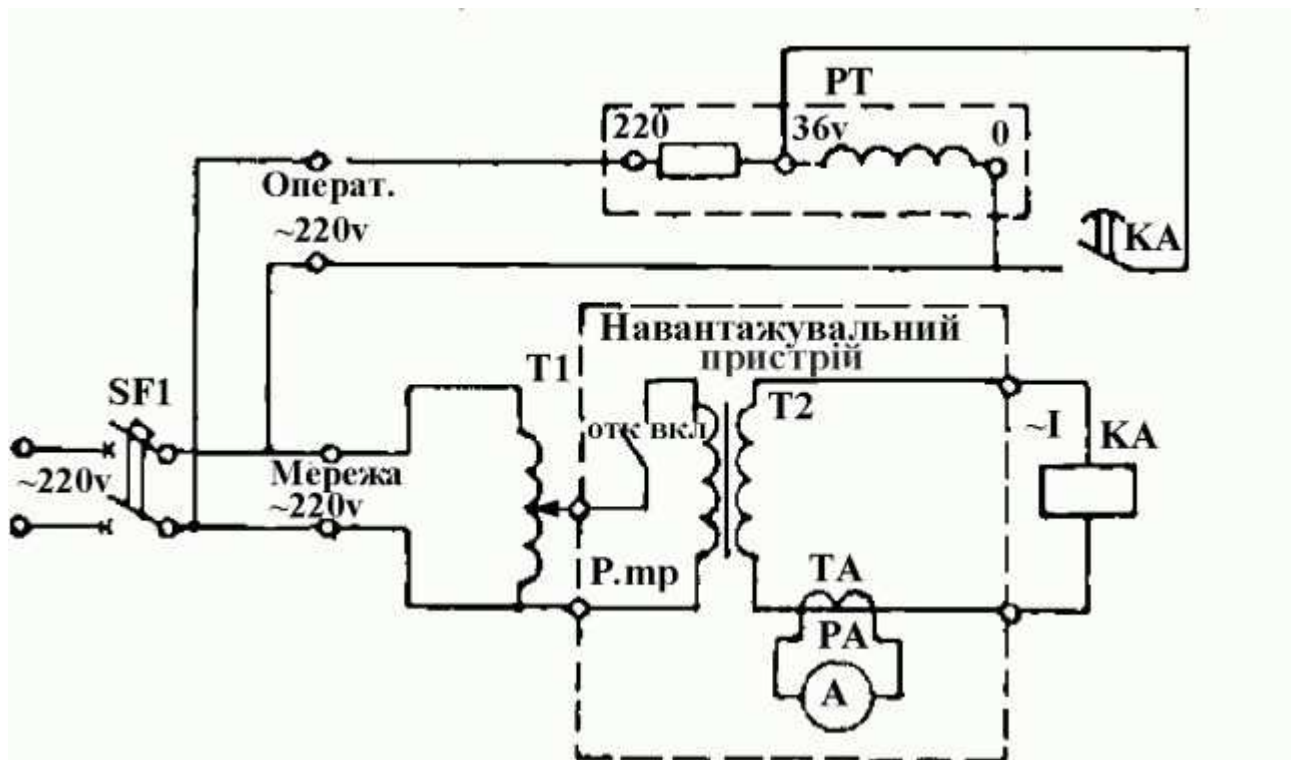


Рисунок 2.6 – Схема визначення часу спрацювання реле

Д. Відсутність вібрації контактів перевіряють при навантаженні на контакти, передбаченою схемою захисту. При перевірці потрібно підняти струм від $1,05 I_{спр}$ до максимально можливого значення струму короткого замикання, приведенного до повторного струму. Струм на реле подають поштовхами з інтервалом 0,1 максимального значення струму. У всьому діапазоні струмів замикання контактів повинно відбуватися без вібрації і іскріння.

4 Програма роботи

1. Вивчити принцип дії, конструкцію і технічні характеристики реле типу РТ-80, зафіксувати паспортні дані.
2. Зробити зовнішній огляд реле.
3. Перевірити і відрегулювати механічну частину реле і контакти, перевірити величину струму початку обертання диска.
4. Зібравши відповідні випробувальні схеми, перевірити електричні характеристики реле:
 - струм спрацювання електромагнітного елемента при 10-кратному струмі спрацювання;
 - струм спрацювання і повернення індукційного елемента;
 - коефіцієнт повернення індукційного елемента;
 - струмочасову характеристику індукційного елемента і реле загалом.
5. Випробувати роботу реле на заданій уставці.
6. Скласти протокол перевірки технічних характеристик реле типу РТ-80 (приведений нижче).
7. Оформити звіт по лабораторній роботі по приведеній формі.

5 Вказівки по виконанню роботи

Перед початком роботи необхідно:

1. Вивчити принцип дії і устрій реле типу РТ-80, а також зміст і технологію перевірки його технічних характеристик.
2. Вивчити контрольно-вимірювальну і випробувальну апаратуру, що використовується при перевірках індукційного вимірювального реле.
3. Підготувати звіт по лабораторній роботі. У якому повинні бути відображені мета і програма роботи, робочі схеми контролю і випробування, а також схеми і технічні характеристики апаратури, що використовується в роботі.

Робочі схеми складаються на основі типових схем контролю і випробування, з урахуванням принципової і монтажною схем реле, що досліджується та апаратури, яку застосовують.

У процесі роботи необхідно:

1. Уточнити програму роботи, а також можливі зміни в складі контрольно-вимірювальної апаратури.
2. Виконати роботи, передбачені програмою. Послідовність і методика виконання окремих операцій приведені в розд.3.

По закінченні роботи:

1. Зробити необхідні обчислення і побудову функціональної залежності.
2. Оформити формалізований протокол випробування індукційного вимірювального реле.
3. Оформити звіт по лабораторній роботі.

6 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненням до кожного з пунктів програми роботи. У звіті треба відобразити схеми і ескізи, що пояснюють принцип дії і конструкцію реле РТ-80, способи формування уставок індукційної і електромагнітної частини реле, методику визначення струмів спрацювання обох частин реле, параметри, що визначають технічний стан реле. В звіті повинні бути наведені також відповіді на поставлені в роботі контрольні питання.

7 Контрольні питання

1. Які реле одержали назву індукційних?
2. Які конструкції індукційних реле Ви знаєте?
3. Перелічіть основні вузли конструкції реле типу РТ-80.
4. Якій меті служать короткозамкнені витки на полюсах магнітної системи?
5. Наведіть формулу обертаючого моменту для реле типу РТ-80.
6. Чим забезпечується сталість швидкості обертання диска при незмінній величині струму в обмотці?

7. За рахунок чого в реле РТ-80 забезпечується зсув магнітних потоків у просторі?
8. Яку величину називають струмом спрацьовування індукційного елемента?
9. Які елементи конструкції реле типу РТ-80 використовують для регулювання уставок?
10. Який елемент конструкції реле типу РТ-80 забезпечує протидіючий момент в індукційній частині реле?
11. Який елемент конструкції реле типу РТ-80 забезпечує протидіючий момент в електромагнітній частині реле?
12. Чому реле типу РТ-80 називають "реле з обмежено залежною характеристикою"?
13. За допомогою якого елемента і за рахунок чого можна регулювати струм відсічки реле РТ-80?
14. Чому для забезпечення роботи індукційного елемента необхідно не менше двох магнітних потоків, які зсунуті у просторі?
15. Для чого в конструкції реле застосовано постійний магніт?
16. Яку величину називають струмом відсічки реле РТ-80?
17. При якій кратності струму в обмотці реле РТ-80 стосовно струму спрацьовування починається "незалежна" частина ампер-секундної характеристики?
18. Які елементи конструкції реле РТ-80 впливають на величину коефіцієнта повернення індукційної частини?
19. Наведіть перелік операцій по контролю технічного стану реле РТ-80.
20. Яку величину називають коефіцієнтом повернення реле РТ-80?

ПРОТОКОЛ
випробування реле

Тип реле _____
Завод виготовник _____
Зав.№ _____
Рік виготовлення _____
З'єднання обмоток _____
Місце установки _____

1. ЗОВНІШНІЙ ОГЛЯД

Зовнішнім оглядом _____

Струм початку обертання - _____ А на уставці _____ А

2. ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК

1) Перевірка струму спрацювання індукційного елемента

Уставка					
Струм спрацювання					
Струм повернення					
Коефіцієнт повернення					

Розкид струму спрацювання _____ %; _____ %; _____ %; _____ %; _____ %.

2) Перевірка електромагнітного елемента

Уставка індукційного елемента								
Кратність електромагнітного елемента								
Струм спрацювання, А								

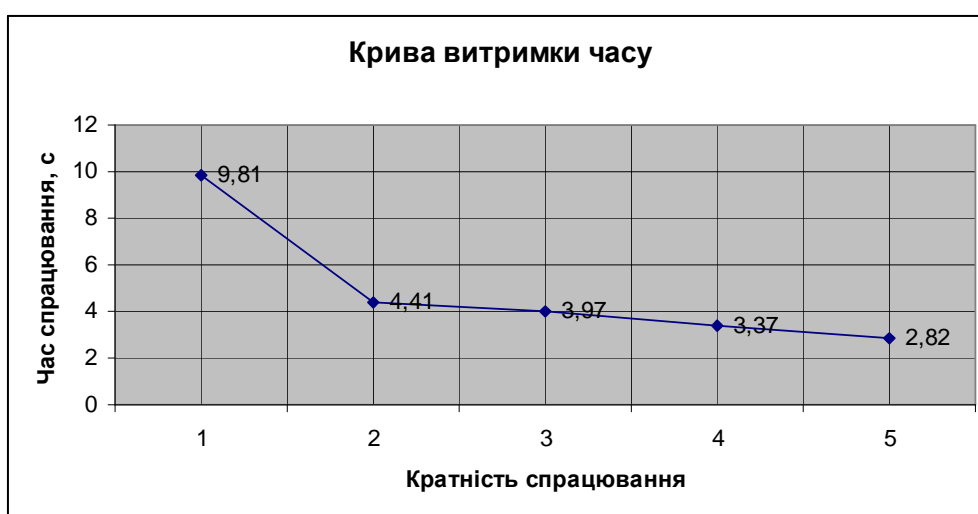
Розкид струму спрацювання _____ %; _____ %.

3) Визначення струмочасових характеристик

Струм спрацювання, А					
Час спрацювання, с					
Кратність спрацювання					

Уставка _____с

4) Крива витримки часу (для прикладу)



3.

3. ПЕРЕВІРКА ВІБРАЦІЇ КОНТАКТІВ

Перевірка проводилася струмом від _____А до _____А на уставці _____А_____

Вібрація не спостерігалася /спостерігалася / _____

4. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ

Опір ізоляції обмоток _____ МОм, контактів _____ МОм

ВИСНОВОК:

Реле типу _____ зав.№ _____ для експлуатації _____

Перевірку проводив(ла) _____ / _____ /

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ ЧАСУ І ПРОМІЖНИХ РЕЛЕ

1. Мета роботи

1. Усвідомлення принципу дії реле, що випробують.
2. Засвоєння основних технічних характеристик реле.
3. Дослідження методики контролю параметрів реле.
4. Набуття практичних навичок у визначенні технічних параметрів реле.

2. Загальні відомості

Реле часу типу РВ-100

До основних елементів логічної частини пристроїв релейного захисту відносяться апарати для створення витримок часу. Такі елементи виготовляються у вигляді реле часу з механічним, електромагнітним, пневматичним уповільненням рухомої системи або у вигляді електричних контурів з різними постійними часу. Величину постійної регулюють зміною величини активного опору, ємності або індуктивності.

Будь-яка конструкція реле володіє власним часом дії, що може бути як незначним (мілісекунда), так істотним (десяті частки секунди). Додатковий час затримки створюється за допомогою реле часу і в залежності від конкретних умов може мінятися від сотої частки секунди до десятків секунд і навіть хвилин.

Реле часу поділяють:

а) за видом струму – реле постійного і змінного струму;
б) за видом регулювання механізму витримки – на реле з нерегульованою, плавно регульованою і ступінчасто-регульованою витримкою часу;

в) за механізмом створення витримки (електричним, електромагнітним, рідинним, механічним (зокрема, за допомогою годинникового механізму) пристроєм або комбінацією пристроїв, наприклад, реле з двигунним приводом.)

Найбільше поширення отримало реле часу з годинниковим механізмом. Як пусковий пристрій реле в цьому випадку використовується електромагнітна система з якорем, що витягується. Таке реле випускається для роботи в колах постійного і змінного оперативного струму. Регулювання уставки в них здійснюється шляхом зміни відстані між рухомим і нерухомим контактами. Рівномірний рух останнього забезпечує годинниковий механізм після спрацювання пускового пристрою з регулюванням від 0 до 20 с.

На великі терміни спрацювання випускається двигунне реле часу. Це багатоступінчасте реле з регулюванням часу від 0 до 20 хв.

Малі терміни уповільнення можуть створюватися за рахунок власного часу дії електромагнітного реле, яке у різних типів реле знаходиться в межах від 0,01 до 0,06 с.

Спеціальне реле з короткозамкненою обмоткою або мідною втулкою на магнітопроводі затримує час на спрацювання до 0,12 с, а на відпущення – до 1,2 с. Це досягається розмагнічуючою дією струмів у короткозамкненій обмотці або спеціальній мідній втулці. Різниця у часі на включення і відпущення пояснюється так. Для того, щоб якір реле притягся до осердя, зусилля, що створене електромагнітом, зумовлене потоком Φ , повинно бути більше протидіючих сил пружини і тертя F_{np} :

$$\Phi^2 = \Phi_{cnp} \geq K_1 \cdot F_{np}.$$

Для того щоб якір відійшов від сердечника, необхідно, щоб

$$\Phi^2 = \Phi_{cnp} < K_2 \cdot F_{np},$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти пропорційності.

У момент подачі на обмотку реле напруги постійний струм, що проходить по обмотці реле, а отже, і потік Φ в осерді змінюються від нуля до деякого максимального значення Φ_{max} . Зміна відбувається не вмить, а згідно з експоненціальним законом і залежить від величини індуктивності обмотки. При зміні цього потоку в короткозамкненому витку або втулці індукується ЕДС, що викликає струм, направлений протилежно струму в обмотці:

$$i_{кз} = e_{кз} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{di_p}{dt},$$

де i_p – струм в обмотці реле;

$i_{кз}$ – струм в короткозамкненому витку.

Струм $i_{кз}$ буде тим більший, чим швидше змінюється струм у часі і чим менше опір короткозамкненого витка $Z_{кз}$, оскільки

$$i_{кз} = \frac{l_{кз}}{Z_{кз}}.$$

По завершенні перехідного процесу (при $i_p = const$) струм $i_{кз} = 0$.

Під впливом $i_{кз}$ виникає додатковий магнітний потік $\Phi_{кз}$. Його напрям протилежний напрямку основного потоку Φ_p і він прагне розмагнітити осердя. Сумарний потік

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_{кз},$$

що визначає силу тяжіння якоря під впливом потоку $\Phi_{кз}$, меншає, а час, за який величина потоку Φ досягає сталого значення, збільшується, що і зумовлює уповільнення процесу притягування якоря.

Уповільнення спрацювання реле при відключенні досягається тим, що при різкому зменшенні струму в обмотці магнітний потік Φ_p також різко меншає. Внаслідок цього в короткозамкненому витку виникає струм $i_{кз}$, що обумовлює виникнення магнітного потоку $\Phi_{кз}$, який в цьому випадку співпадає з напрямом потоку в режимі, попередньому моменту відключення.

Поступово затухаючи, потік $\Phi_{кз}$ підмагнічує осердя. Таким чином, сумарний потік деякий час підтримується на рівні, близькому до початкового, що є причиною затримки в поверненні якоря в початкове положення. При одному і тому ж короткозамкненому витку час спрацювання і відпущення реле буде різним. Це обумовлюється тим, що величини магнітних потоків, які проходять через осердя і якір, залежать від величини повітряного проміжку між ними і різні для включеного і відключеного положень реле. Цей принцип уповільнення дії реле використовують в проміжних реле типу РП-251, РП-252, РП-256, що серійно випускається.

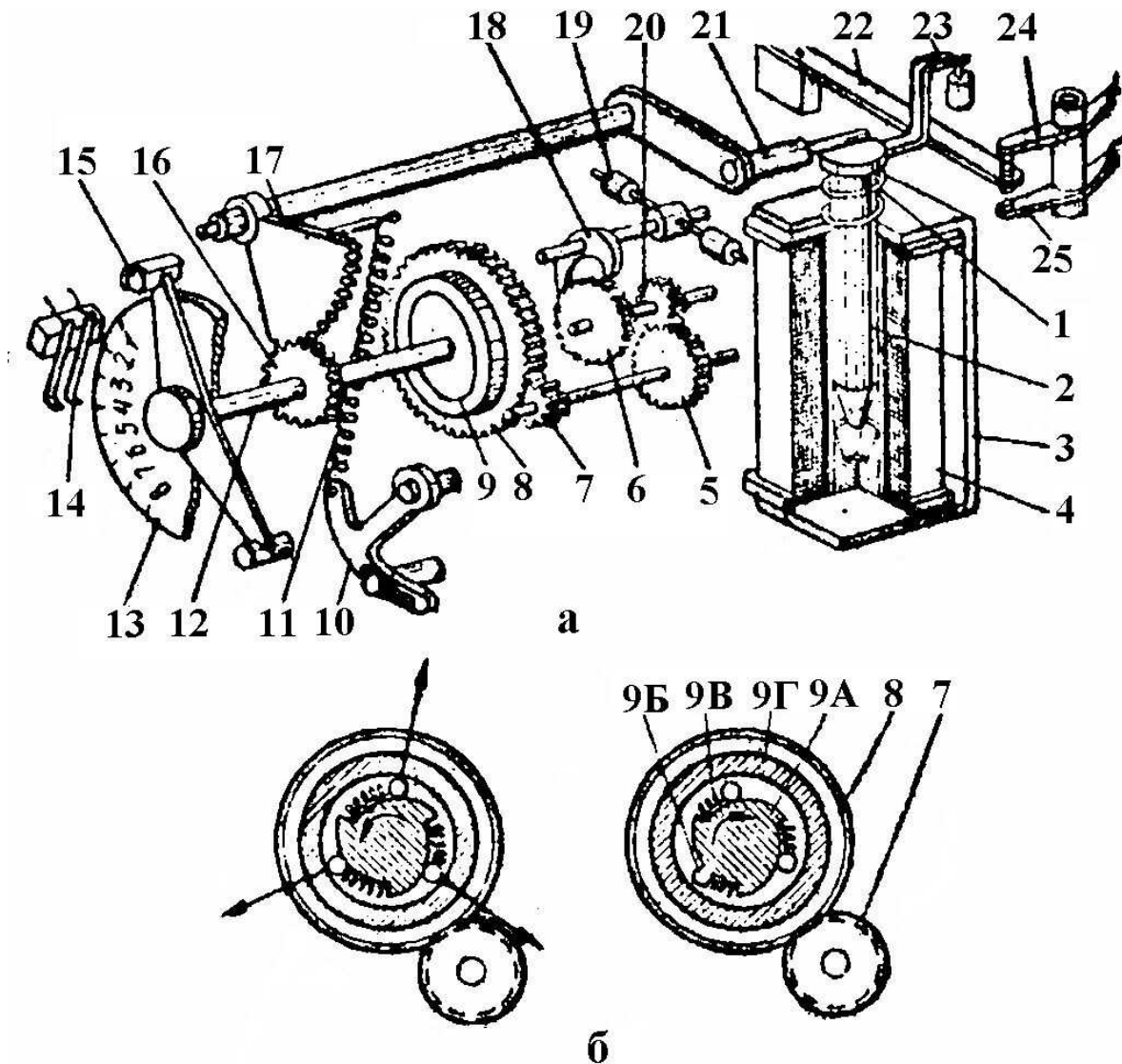


Рисунок 3.1 – Будова реле часу типу РВ-100

Будова реле часу типу РВ-100 надана на рисунку 3.1. Електромагніт реле складається з магнітопроводу 3, обмотки 4 і циліндричного якоря 2. Для отримання оптимальної тягової характеристики нижній кінець якоря має конічну форму і при втягуванні входить в конічне заглиблення на осерді, вміщеному в середині котушки. Для запобігання злипанню якоря в притягнутому положенні на його нижньому кінці є бронзова шайба. На

верхньому кінці якоря укріплений важіль 23 з пластмасовим штовхачем, що діє на контакти 22, 24 і 25, які замикаються без витримки часу.

При відсутності напруги на обмотці якір під впливом поворотної пружини 1 підіймає вгору до упора заводний важіль 21 годинникового механізму, розтягує робочу пружину механізму 11. Зубчатий сектор 17 повертає шестерню 16 на вихідному валу 12 і встановлює рухомі контакти 15 в початкове положення. Натяг пружини може регулюватися за допомогою вузла 10.

При подачі напруги на обмотку електромагніту якір втягується, важіль 21 годинникового механізму звільняється і під дією робочої пружини вихідний вал механізму разом з рухомими контактами 15 починає повертатися. У момент початку руху вихідного вала фрикційна муфта 9, яка розташована в середині шестерні 8, приводить в дію сповільнюючий анкерний пристрій. Шестерні 8, 7, 5 і 20 передають зусилля робочої пружини на анкерне колесо 6, зчеплене з анкером 18 і балансиrom 19. Під впливом анкерного колеса анкер починає коливатися. При кожному коливанні анкера анкерне колесо повертається на один зуб. Період коливання анкера регулюється положенням важелів на балансірі.

Обертання вихідного вала відбувається доти, поки місток рухомого контакту 15 не замкне кінцеві нерухомі контакти 14 і не торкнеться упора, що є на пластмасовій колодці нерухомих контактів.

Крім кінцевих контактів реле може мати і прослизаючі контакти, що короткочасно замикаються з певною витримкою часу.

Зміна уставок часу спрацювання проводять переміщенням нерухомих і просковзних контактів по шкалі 13.

Реле має сильну поворотну пружину, розраховану на заведення годинникового механізму, тому обмотка електромагніту споживає значну потужність і може підключатися до джерела оперативної напруги лише на нетривалий час. У тих випадках, коли потрібно тривале перебування обмотки під напругою, після втягування якоря послідовно з обмоткою контактами миттєвої дії включають додатковий резистор.

Для полегшення роботи контактів реле струму, що керує реле РВ-100, паралельно обмотці електромагніту підключають іскрогасильний контур з послідовно з'єднаних резистора і конденсатора.

Технічні характеристики реле часу типу РВ-100

Реле часу типу РВ-100 призначене для роботи в схемах релейного захисту і противарійної автоматики для регульованої із заданою точністю витримки часу при спрацюванні і забезпеченні роботи елементів схеми.

Реле випускається для роботи на постійному оперативному струмі з номінальною напругою 24, 48, 110 і 220В у 12 різних виконаннях, відмінних діапазоном регулювання витримки часу, тривалою або короткочасною термічною стійкістю і наявністю або відсутністю просковзного контакту.

Основні характеристики реле представлені в таблицях 3.1, 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.1 – Діапазон уставок реле типу РВ-100

Тип реле	Діапазон уставок	Термічна стійкість
РВ-112	0,1-1,3	не більше 2 хвилин
РВ- -122	0,25-3,5	
РВ- -132	0,5-9,0	
РВ- -142	1,0-20	
РВ- -113	0,1-1,3	тривала
РВ- -123	0,25-3,5	
РВ- -133	0,5-9,0	
РВ- -143	1,0-20	
РВ- -114	0,1-1,3	не більше 2 хвилин
РВ- -124	0,25-3,5	
РВ- -134	0,5-9,0	
РВ- -144	1,0-20	

Напруга спрацювання реле – не більше за $70\% U_{ном}$.

Напруга повернення на будь-якій уставці – не менше за $5\% U_{ном}$.

Потужність, споживана обмоткою у сталому режимі, – не більше за 30 Вт у реле, призначеного для короткочасного включення, і не більше за 12 Вт у реле, призначеного для тривалого включення.

При зміні температури навколишнього повітря від -30 до $+40^{\circ}\text{C}$ витримка часу змінюється не більше, ніж на 20%, розкид часу спрацювання – не більше ніж на 50%, а напруга спрацювання – не більше, ніж на 30% значення, вимірюваного при 20°C . При знятті напруги з обмотки якорів реле чітко повертається в початкове положення. Відключаюча здатність контактів у колах постійного струму при напрузі навантаження до 250 В і струмах до 2 А дорівнює 100 Вт.

Таблиця 3.2 – Характеристики точності роботи реле

Діапазон уставок, с	Розкид, с	Відхилення від уставки	
		мінімальне	максимальне
0,1-1,3	0,06	$\pm 0,05$	$\pm 0,15$
0,25-3,5	0,12	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$
0,5-9,0	0,25	$\pm 0,12$	$\pm 0,5$
1,0-20	0,8	$\pm 0,2$	$\pm 1,5$

Замикаючі з витримкою часу контакти допускають тривале протікання по них струму до 5А, що перемикають миттєві контакти – до 3А.

Просковзні контакти з вказаною вище потужністю навантаження можуть тільки замикати коло, розрив кола повинен проводитись контактами іншого реле.

У разі необхідності розриву кола просковзними контактами потужність навантаження повинна бути знижена до 30 Вт для вказаних вище умов навантаження.

Механізм реле витримує без відмов в роботі 5000 спрацьовувань, контакти реле – 1000 спрацьовувань при повному електричному навантаженні. Маса реле не перевищує 1,6 кг.

Таблиця 3.3 – Обмотувальні дані котушок реле

Номинальна напруга, В	Число витків	Діаметр проводу, мм	Опір, Ом
24	2000	0,44	20
48	4250	0,31	80
110	9800	0,2	450
220	18900	0,14	1750

Всі котушки намотані проводом ПЕЛ. У реле на номінальні напруги 24, 48, 110 і 220В, призначених для тривалого включення, застосовані резистори ПЕВ-20 опором відповідно 36, 150, 820 и 3000Ом. У дугогасний контур входять конденсатор МБГО ємністю 0,5 мкф на напругу 500В і резистор МЛТ-2 опором 1000Ом.

3 Методика контролю технічних характеристик реле типу РВ-100

Як при новому включенні, так і при планових перевірках контроль технічного стану реле здійснюється в такому об'ємі:

- зовнішній огляд;
- перевірка і регулювання механічної частини і контактів реле;
- перевірка стану ізоляції;
- перевірка електричних характеристик;
- перевірка функціонування.

1. Зовнішній огляд. При зовнішньому огляді реле необхідно пересвідчитися в цілості кожуха, надійності кріплення реле до панелі, стані й надійності зміцнюючих гвинтів, шпильок, стані з'єднуючих проводів. При необхідності проводять очищення від пилу і бруду, підтягнення кріплення і контактних з'єднань.

2. Перевірка і регулювання механічної частини і контактів реле проводять в наступному порядку:

а) зняти кожух і пересвідчитися в чистоті й справності всіх деталей реле (при необхідності зробити очищення), впевнитись в тому, що плунжер електромагніту добре відполірований, що поворотна пружина конічної форми і її витки не лягають один на одного при втягнутому плунжері;

б) перевірити регламентовані люфти, зазори, прогини контактів:

- поперечний люфт плунжера в латунній гільзі повинен становити 0,3-0,6мм;

- прогин нерухомих контактів мусить бути в межах 0,7-1мм;

- прогин пружини рухомого перемикаючого контакту (в середній частині) у верхньому положенні має становити 0,5-1мм, а в нижньому – 1,0-2,0мм. У середньому положенні (в момент перемикавання) пружина не повинна прогинатися;

- зазор між рухомими і нерухомими контактами у відключеному положенні повинен бути не менше 2,5 мм;

в) перевірити роботу годинникового механізму: пересвідчитися, що при його роботі відсутні перебої або зриви, контактний важіль рівномірно обертається уздовж всієї шкали, миттєвий контакт надійно перемикається, контактні пружини лежать в одній площині, перпендикулярній до шкали, обидва нерухомих контакти в момент замикання стикаються з рухомими одночасно, а їх прогин складає не менше 0,7-1мм;

3. Перевірити стан ізоляції. Опір ізоляції між ізольованими один від одного колами, між обмоткою і корпусом, між комутованими ланцюгами і корпусом.

Опір повинен бути не менше 5 МОм.

Для вимірювання використовується мегаомметр з номінальною напругою 1000В.

4. Перевірка електричних характеристик:

а) Вимірювання опору кола обмотки реле постійному струму. Активний опір вимірюють за допомогою вимірювального містка або мікрометра. При наявності в обмотці короткозамкнених витків її опір зменшується, а при порушенні контактних з'єднань в колі обмотки – збільшується. Вимірний опір постійному струму не повинен відхилятися від заводських даних більш ніж на $\pm 10\%$;

б) вимірювання напруги чіткого спрацювання на схемі (рис.3.2). При цьому подачу напруги в обмотку проводять "поштовхом". Вимірювання напруги повернення реле здійснюють при плавному зниженні напруги.

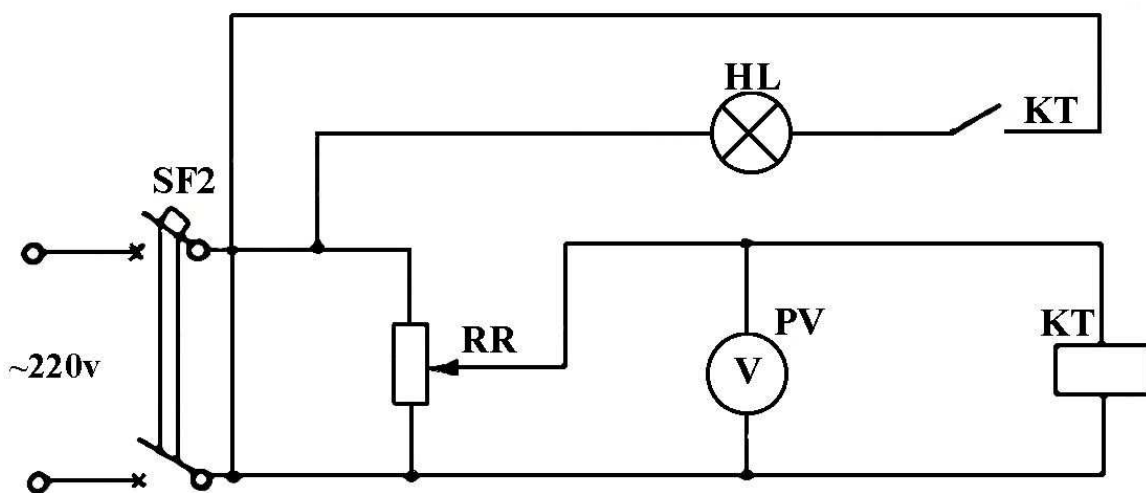


Рисунок 3.2 – Схема вимірювання напруги спрацювання реле

Мінімальна напруга чіткого спрацювання реле повинна бути не більше за 70% номінального значення. При цьому похибка роботи реле не повинна перевершувати допустимого значення;

в) вимірювання часу спрацювання на робочій устатці і на всіх поділках шкали проводиться по схемі рисунок 3.3.

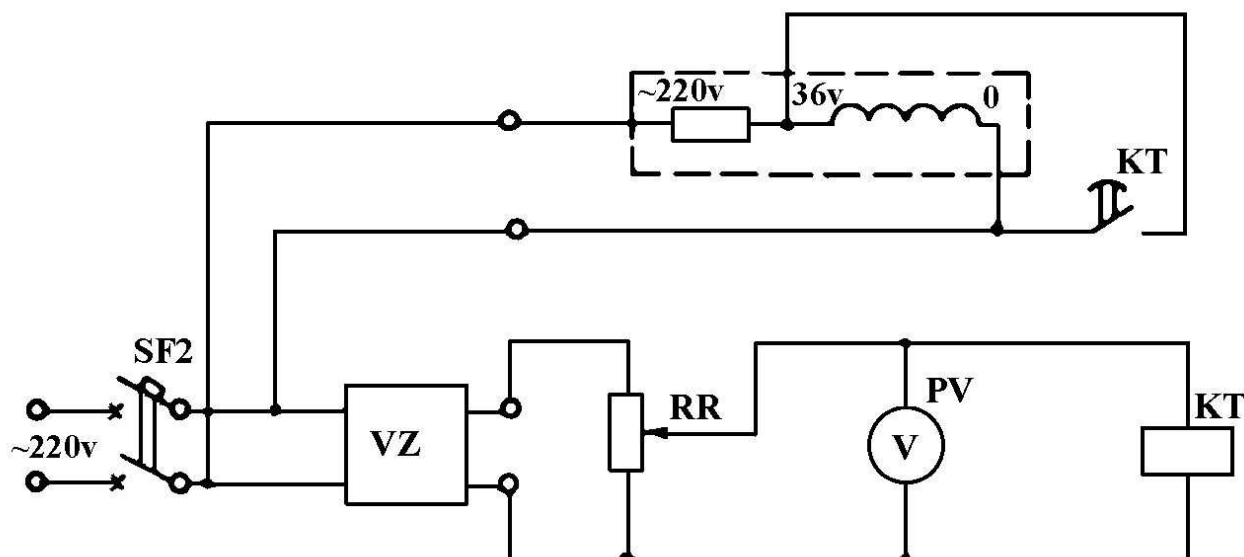


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання часу спрацювання реле

Час спрацювання вимірюють при подачі напруги на обмотку реле “поштовхом” (рис. 3.3). Час дії на заданих уставках визначають як середнє арифметичне з п'яти вимірювань. По відношенню до цього середнього значення визначається граничне значення похибки.

Важливою характеристикою реле є розкид часу, що являє собою різницю між максимальним і мінімальним часом спрацювання при п'яти вимірюваннях на одній і тій же уставці. Розкид перевіряють на максимальній уставці при номінальній напрузі. При цьому він не повинен перевищувати наступних значень:

- максимальна витримка часу по шкалі, с: 1,3; 3,5; 9; 20.
- розкид часу, с: 0,06; 0,12; 0,25; 0,8.

5. Перевірити функціонування десятиразовим запуском реле вручну з прослуховуванням роботи годинникового механізму при запуску і поверненні і трикратним запуском з подачею напруги на обмотку. При запуску і поверненні пересувної частини реле в початковий стан механізм повинен працювати без перебоїв і зупинок.

Проміжне реле типу РП-23

Проміжне реле РП-23 застосовують в логічній частині схем захисту і автоматики на постійній оперативній напрузі в тих випадках, коли з'являється необхідність розмножити число контактів іншого реле або комутувати кола з великим струмом. Загальний вигляд реле і схема внутрішніх з'єднань наведені на рисунку 3.4.

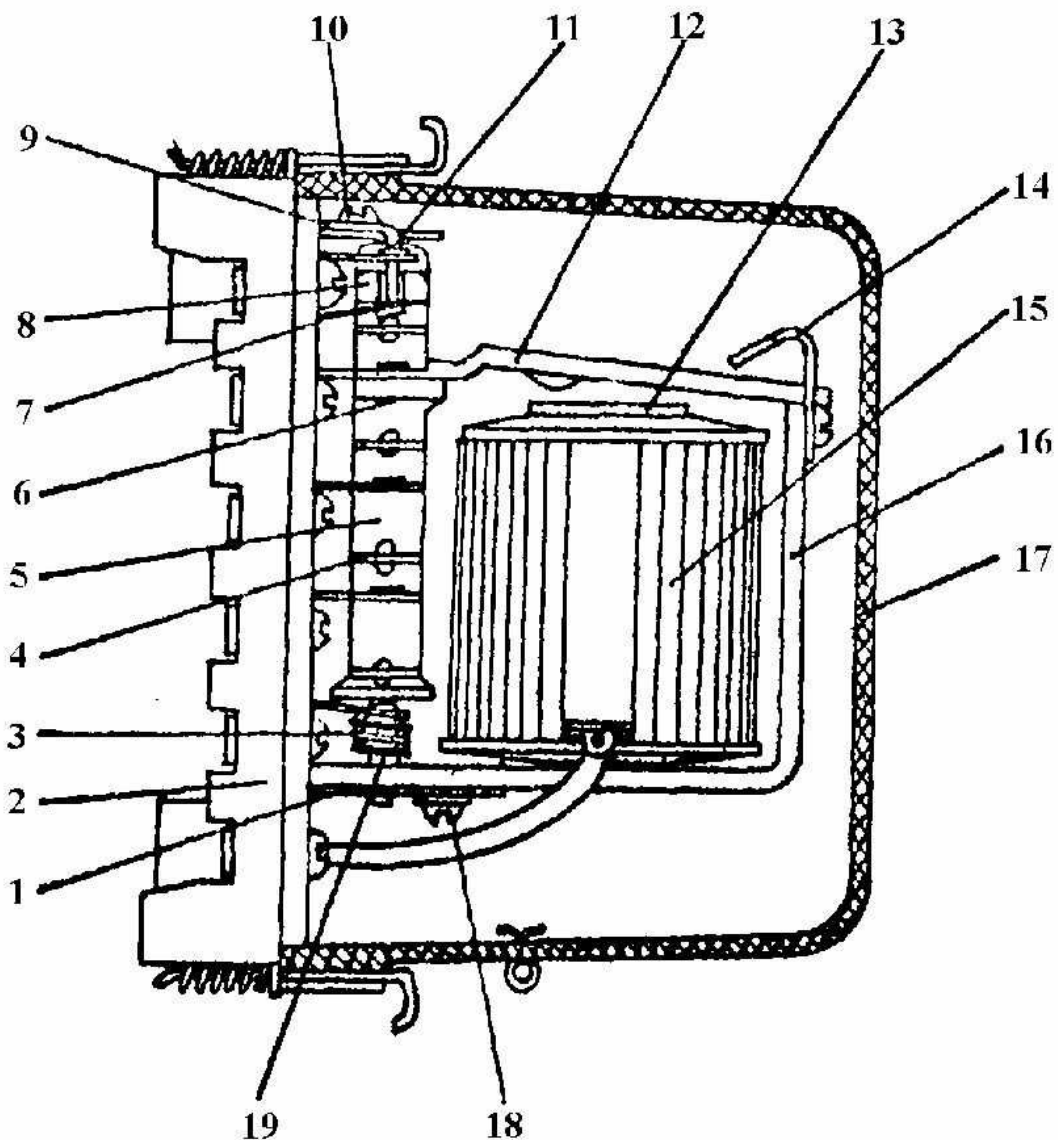


Рисунок 3.4 – Будова реле типу РП-23

Реле виконане на магнітній системі клапанного типу, що включає скобу 16, якір 12 і осердя з полюсним наконечником 13, розташованим всередині обмотки 15. Переміщення якорю обмежується скобою 14. Вільний кінець якоря при втягуванні впливає на упорну колодку 6 і переміщує траверсу 5 з чотирма рухомими містковими контактами 4. Траверса зібрана з кількох пластмасових колодок, стягнутих шпилькою 19. Верхня частина траверси виступами з прорізом 8 ковзає по направляючій скобі 11, укріпленій гвинтом 10 на верхньому упорі 9. До цього упору в початковому стані притиснута верхня частина шпильки 19. Нижня частина шпильки, що не має різьби, проходить через отвір у пластині 1, яка обмежує переміщення пересувної системи в горизонтальному напрямі і втримує поворотну пружину 3. Пластина укріплена на скобі магнітопроводу гвинтом 18. Нерухомі контакти 7 укріплені безпосередньо на втулках затисків. Реле змонтоване на цоколі 2 і закрито полістироловим кожухом 17.

Реле випускається з чотирма контактами, що замикають і одними, що розмикає. Перестановкою (поворотом на 180°) косинців рухомих контактів можна отримати ще декілька комбінацій замикаючих і розмикаючих контактів.

Технічні дані реле типу РП-23

Реле випускають на номінальну напругу: 24; 48; 110; 220 В.

Напруга спрацювання в холодному стані при температурі 20 ± 5 С – не більше $70\% U_{ном}$.

Напруга повернення реле не менше за $3\% U_{ном}$.

Час спрацювання при номінальній напрузі не перевищує 0,06 с.

Потужність, споживана реле, не більше 6 Вт.

Реле тривало витримує напругу $110\% U_{ном}$.

Механізм реле витримує без відмов 100000 спрацювань.

4 Методика контролю технічних характеристик реле типу РП-23

1. Перевірка і регулювання механічної частини реле.

Регулювання реле і коректування електричних параметрів виконують таким чином:

А. Перевіряють регулювання контактних пар. Вершини рухомих контактів повинні співпадати з серединою площини нерухомих контактів. Регулювання виконують переміщенням пластини 1 і направляючої скоби 11;

Б. Перевіряють вільний хід пересувної системи. При притягнутому якорі рухома система реле повинна мати вільний хід 0,5-1,5 мм. Регулювання проводять підгинанням хвостовика на вільному кінці якоря.

При відпущеному якорі рухома система повинна впиралися у верхній упор, а хвостовик якоря мати вільний хід над упорною колодкою 0,5-2 мм. Регулювання здійснюють відгинанням скоби 14.

В. Перевіряють контактний тиск. При зазорі близько 0,4 мм між виступом на якорі і полюсним наконечником 13 всі замикаючі контакти повинні замикатися. При зазорі близько 0,7 мм між верхнім кінцем шпильки, що стягує систему, і верхнім упором 9 розмикаючі контакти повинні бути замкнені. Міжконтактний зазор повинен бути не менше 2,5 мм. Регулювання проводять підгинанням контактних косинців і верхнього упора 9. Це забезпечує контактний тиск у межах 0,12-0,22 Н.

2. Перевіряють ізоляцію.

Перевірку ізоляції всіх кіл реле проводять відносно корпусу, а також між розімкненими контактами, між контактами і обмоткою.

3. Перевіряють електричні характеристики реле.

Перевірка електричних характеристик реле зводиться до вимірювання напруги спрацювання і напруги повернення реле з подальшим визначенням коефіцієнта повернення і розкиду напруги спрацювання і повернення по аналогії з визначенням параметрів реле РВ-100. Коефіцієнт повернення визначають за наступним співвідношенням:

$$K_{нов} = \frac{U_{нов}}{U_{спр}},$$

де $U_{нов}$ - напруга повернення реле;

$U_{спр}$ - напруга спрацювання реле.

5 Програма роботи

1. Вивчити принцип дії і технічні характеристики реле типу РВ-100 і реле типу РП-23.
2. Зробити зовнішній огляд реле типу РВ-100 і реле типу РП-23.
3. Перевірити і відрегулювати механічну частину і контакти реле типу РВ-100 і реле типу РП-23.
4. Виміряти опір кола обмотки реле типу РВ-100 постійному струму .
5. Підібрати апаратуру і зібрати випробувальну схему для перевірки електричних характеристик реле;
 - виміряти напругу чіткого спрацювання реле типу РВ-100;
 - виміряти напругу чіткого спрацювання і напругу повернення реле типу РП-23;
 - перевірити час спрацювання реле типу РВ-100 на робочій устатці.
6. Перевірити правильність функціонування реле типу РВ-100 і реле типу РП-23.
7. Заповнити протокол випробувань.
8. Оформити звіт про лабораторну роботу.

6 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненням кожного з пунктів програми роботи. У звіті належить відобразити схеми і ескізи, що пояснюють принцип дії і конструкцію реле типу РВ – 100 та РП-23, способи формування уставок спрацювання реле РВ – 100, методику визначення напруги спрацювання і повернення реле РП-23, параметри, що визначають технічний стан реле. У звіті повинні бути наведені відповіді на поставлені в роботі контрольні питання.

7 Контрольні питання

1. Класифікація реле часу.
2. Основні складові елементи реле часу РВ-100.
3. Призначення додаткового резистора та іскрогасильного контуру для реле РВ-100. Склад іскрогасильного контуру.
4. Стислий принцип дії реле РВ-100.
5. Призначення та принцип регулювання уставок реле часу з годинниковим механізмом.
6. Призначення реле часу типу РВ-100.
7. Основні характеристики реле РВ-100.
8. Основні етапи при контролі технічного стану реле РВ-100.
9. Надати визначення характеристиці реле РВ-100 "розкид часу".
10. Межі застосування проміжного реле РП-23.
11. Основні елементи будови реле типу РП-23.
12. Перелічити технічні дані реле типу РП-23.

13. Назвіть етапи методики контролю технічних характеристик реле типу РП-23.
14. Надати стислий зміст визначення електричних характеристики реле РВ-100 та РП-23 при контролі технічних характеристик.
15. Яким чином проводиться перевірка функціонування реле РВ-100?

8 Формули, використані при розрахунках:

Коефіцієнт повернення:
$$K_{\text{пов}} = \frac{U_{\text{пов}}}{U_{\text{спр}}} .$$

Розкид при спрацюванні:
$$\frac{U_{\text{спр}} - U_{\text{сп.спр}}}{U_{\text{сп.спр}}} \cdot 100\% .$$

Розкид при поверненні:
$$\frac{U_{\text{пов}} - U_{\text{сп.пов}}}{U_{\text{сп.пов}}} \cdot 100\% .$$

ПРОТОКОЛ
випробування реле

Тип реле _____
Завод виготівник _____
Зав.№ _____
Рік виготовлення _____
З'єднання обмоток _____
Місце установки _____

1. ЗОВНІШНІЙ ОГЛЯД

Зовнішнім оглядом _____

2. ПЕРЕВІРКА МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ РЕЛЕ

Механічна частина реле опір обмотки _____ Ом

3. ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК

$t_{\text{спр}}, \text{с}$			
$U_{\text{спр}}, \text{В}$			
$U_{\text{пов}}, \text{В}$			
$U_{\text{ср.спр}}, \text{В}$			
$U_{\text{ср.пов}}, \text{В}$			
$K_{\text{пов}}$			
Розкид при спрацюванні, %			
Розкид при поверненні, %			

ВИСНОВОК:

Реле типу _____ зав.№ _____ для експлуатації _____

Перевірку проводив(ла) _____ / _____ /

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

1 Мета роботи

1. Усвідомлення принципу дії автоматичних вимикачів та їх місця у схемах електропостачання споживачів.
2. Засвоєння основних технічних характеристик автоматичних вимикачів.
3. Дослідження методики контролю параметрів автоматичних вимикачів.
4. Набуття практичних навичок у визначенні електричних параметрів автоматичних вимикачів.

2 Загальні відомості

Правила технічної експлуатації вимагають, щоб у всіх електричних установках на випадок виникнення аварійних режимів були передбачені спеціальні засоби захисту, здатні в найкоротший час ліквідувати аварійні умови у відповідній мережі. Найпоширенішими апаратами, що виконують функції захисту, є автоматичні повітряні вимикачі (автомати). Автомат повинен негайно реагувати на виниклий у мережі ненормальний режим і автоматично відключати ушкоджену ділянку від справної електромережі. Автоматом можна також користуватися для рідких операцій по включенню й відключенню номінальних струмів навантаження.

Автоматичними називають вимикачі, що призначені для вмикання, проведення і вимикання струму в нормальних умовах в електричному колі, а також для вмикання, проведення певного часу та автоматичного вимикання струму в ненормальних умовах у колі, таких як струм короткого замикання і струм перевантаження. Як правило, автоматичні вимикачі використовують для нечастих дій по комутації електричних кіл.

На відміну від контактора, що призначений для відключення тільки струмів навантаження, автомат здатний відключати струми короткого замикання, які в сотні разів перевищують номінальну величину струмів навантаження. Крім того, автомат має вузол елементів захисту, що реагує на зміну режиму мережі й дає сигнал на відключення.

Повітряним автоматичний вимикач називають тому, що гасіння електричної дуги здійснюється в середовищі навколишнього повітря.

Найбільш широке поширення одержали універсальні і установочні вимикачі як змінного, так і постійного струму.

Універсальні автомати не мають захисного корпусу і їх, звичайно, встановлюють в приміщеннях розподільних пристроїв низької напруги, куди обмежений доступ сторонніх осіб.

Установочні автомати мають пластмасовий захисний корпус і можуть

бути встановлені як у розподільних пристроях, так і в приміщеннях, доступних широкому колу осіб.

Звичайно, власний час спрацьовування автомата залежить від величини номінального струму й конструкції та лежить у межах від 0,02 до 0,1 сек. Для забезпечення селективного захисту доводиться використовувати автомати зі спеціальними приставками, що дозволяють робити регулювання часу спрацьовування. Такі автомати одержали назву селективних. На рис. 4.1. надана узагальнена схема автомата, яка дозволяє легко розібратися в призначенні й дії окремих його вузлів.

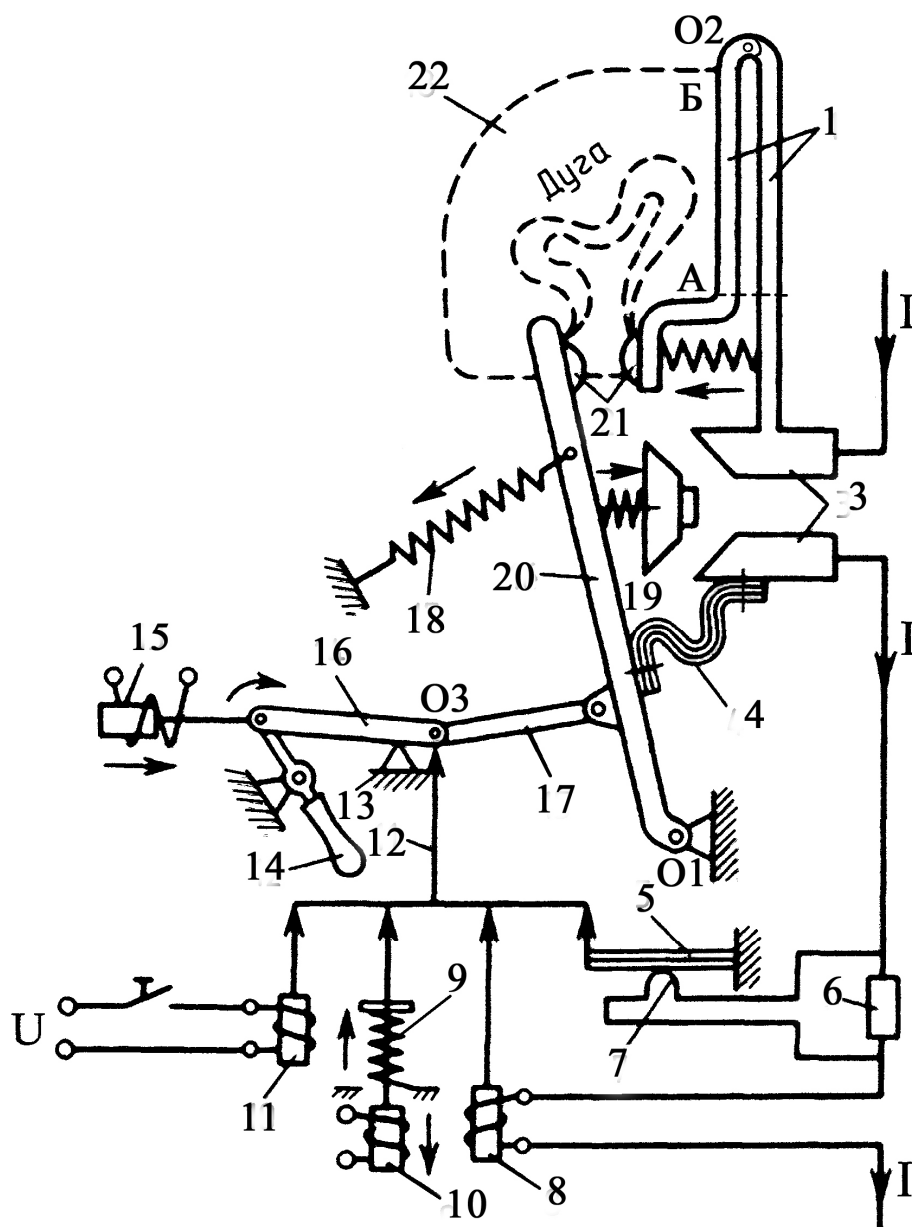


Рисунок 4.1 – Узагальнена схема автоматичного вимикача

Автомат призначено для комутації деякого кола струму I . У зазначеному на рисунку положенні автомат відключений і силове електричне коло розімкнуте. Для того щоб включити автомат треба або повернути рукоятку

ручного включення 14 по годинній стрілці, або подати напругу на електромагнітний привод 15. У обох випадках створюється зусилля, яке переміщаючи важелі 16 і 17 вправо, буде, повертати основну несучу деталь 20 автомата навколо нерухомої осі по годинній стрілці. Першими замикаються (дугогасні) контакти 21 і через гнучкий зв'язок 4 створюють коло струму. При подальшому русі деталі 20 вправо замикаються головні контакти 3, по яких буде проходити основна частина струму силового кола. Після завершення операції включення вся система залишається в, крайньому правому положенні за рахунок дії спеціальної засувки, що на малюнку не показана. Опора 13 не дозволяє важелям 16, 17 зміщуватись вниз.

Одночасно при включенні автомата зводиться відключаюча пружина 18, що призначена для зміщення рухомої системи автомата вліво й розмикання контактів, якщо важелі 16 і 17 перевести вгору за мертву точку. Таке зміщення може бути здійснене через механічний зв'язок 12 від кожного із чотирьох розчеплювачів.

Для захисту від перевантажень, автомати обладнують біметалічними розчеплювачами 5. Для подачі напруги на підігрівник розчеплювача 7 у головне коло автомата включено додатковий резистор 6.

Для забезпечення необхідного контактного натискання головні й розривні контакти мають спеціальні пружини 2 і 19. Однак практика показує, що сила натискання цих пружин може виявитися недостатньою для утримання контактів у замкнутому стані при протіканні по них струмів короткого замикання, оскільки в контактах з'являються електродинамічні зусиллі, які можуть відірвати контакти один від одного. Розрив контактів зі струмом короткого замикання може привести до утворення електричної дуги й зварюванню контактів. Щоб уникнути самовільного розмикання контактів при протіканні по них струмів короткого замикання застосовують компенсатори електродинамічних зусиль. Найбільше поширення одержали компенсатори, засновані на електродинамічному принципі.

На рис. 4.1 показано компенсатор петлевого типу. По двох паралельних шинках 1, зв'язаним один з одним загальною віссю O_2 , на ділянці А-В протікають струми різного напрямку. У просторі між провідниками магнітні силові лінії, що створюються протікаючим струмом мають однаковий напрямок. Магнітні силові лінії згущаються й властиві їм сили бічного розпору приводять до того, що з'являється електродинамічна сила, яка впливає на рухому деталь компенсатора у ту ж сторону, що й контактна пружина 2. Результуюча сила здатна протистояти електродинамічній силі відштовхування контактів і запобігти самовільному розмиканню. При протіканні підвищеного, щодо номінальної величини, струму біметалічний елемент вигибається нагору й створює силу, що передається через механічний зв'язок 12 і переводить важелі 16, 17 нагору за мертву точку. У результаті чого твердий зв'язок між важелями порушується й автомат відключається.

Захист від струмів короткого замикання здійснюється максимальним розчеплювачем 8. Коли по його котушці протікає струм короткого замикання, на якій діє сила, що переводить важелі 16 і 17 нагору за мертву точку, у

результаті чого автомат відключається.

Для захисту від зниженої напруги мережі використовують мінімальні розчеплювачі. На котушку такого розчеплювача 10 подається напруга захищеної мережі. При нормальній напрузі електромагнітна сила утримує осердя котушки розчеплювача в притягнутому стані у нижньому положенні. При зниженні напруги у мережі сила, що розвивається електромагнітною системою розчеплювача, буде вже не достатньою для протидії зворотній пружині. Рухома система розчеплювача 12 переходить у верхнє положення, переводячи важелі 16, 17 за мертву точку, і тим самим відключає автомат.

Для дистанційного відключення автомата від кнопки управління КУ служить незалежний розчеплювач 11, дія якого аналогічно дії електромагнітного розчеплювача.

При відключенні автомата спочатку розмикаються головні контакти 3 і весь струм переходить у паралельне коло розривних контактів 21. таким чином, при розмиканні головних контактів дуга на них не утвориться й вони не піддаються обгоранню.

Коли головні контакти розходяться на досить великій відстані розмикаються розривні (дугогасні) контакти 21. На них виникає електрична дуга, що видувається в дугогасну камеру 22 і гаситься там. Оскільки розривні контакти призначені для гасіння дуги, їх виготовляють з матеріалу, здатного протистояти її впливу.

У реальних автоматах система важелів 16, 17 має більше складний устрій, чим на представленій схемі. Механізм вільного розчіплювання дозволяє автомату відключатися в будь-який момент часу, у тому числі й у момент включення, коли кожний із розглянутих розчеплювачів здійснює вплив на рухому систему автомата. Це забезпечується тим, що в цьому, випадку важелі 16,17 зміщується вгору за мертву точку й твердий зв'язок між приводною системою 14, 15 і рухомою системою автомата 20 порушується. Автомат негайно вимикається за рахунок дії зворотної пружини 18, незалежно від впливу включаючої сили приводної системи автомата.

Механізм вільного розчіплювання дозволяє також запобігти можливості «плигання» автомата при включенні його на коротке замикання. Дійсно, при включенні автомата в цьому випадку відбудеться спрацьовування максимального розчеплювача. Система важелів 16, 17 вийде за мертву точку. Автомат відключиться й більше не зможе ввімкнутися, тому що механічний зв'язок між приводом і рухомою системою автомата буде порушеним. При відсутності механізму вільного розчіплювання після автоматичного відключення пішло б повторне включення під впливом включаючої сили приводу. Відбулися б наступні один за одним багаторазові відключення й включення автомата у важкому режимі короткого замикання, що привело б до його руйнування автомата.

Одним з відповідальних вузлів автомата є струмоведуче коло, оскільки режим тривалого протікання номінального струму є для нього нормальним. З іншої сторони струмоведуча система автомата піддається впливу великих електродинамічних навантажень при протіканні струмів короткого замикання.

В той же час автомат повинен забезпечувати багаторазове відключення таких струмів і після відключення повинен бути придатним для тривалого пропускання номінального струму навантаження. Варто додати, що для одержання малого власного часу спрацьовування вага рухомих частин струмоведучого кола повинна бути мінімально можливою.

При номінальних струмах до 200 А застосовують одну пару контактів, які для збільшення дугостійкості облицьовують металокерамікою. Більші номінальні струми вимагають застосування двоступінчастого контакту типу мосту, що перекочується, або пари головних, і дугогасних контактів.

Дугогасильна система автомата повинна забезпечувати надійне гасіння дуги при всіх можливих режимах роботи мережі. В установочних і універсальних автоматах частіше, усього використовують напівзакрите виконання, при якому автомат закритий кожухом з отворами для виходу гарячих газів. Обсяг кожуха робиться досить велика, щоб уникнути появи всередині кожуха надлишкового тиску. Широке поширення в цих автоматів одержали деіонні дугогасні грати зі сталевих пластин. У цьому випадку гасіння дуги відбувається спокійно з мінімальним викидом іонізованих і нагрітих газів з дугогасного пристрою.

При більших струмах застосовують лабиринтно-щілинні камери й камери із прямою поздовжньою щілиною. Втягування дуги в щілину здійснюється за рахунок серієсного магнітного дуття.

Для здійснення операцій по включенню апарата застосовують ручні приводи безпосередньої дії й електромеханічні дистанційні приводи. Ручні приводи застосовуються при струмах до 200 А. При більших струмах використовують електромеханічні приводи, що забезпечують необхідну швидкість наростання тиску в контактах. Як електромеханічні приводи знайшли поширення електромагнітні й електродвигунні. Необхідна для відключення енергія в цьому випадку накопичується в заведеній приводом пружині. Після команди на відключення звільняється утримуюча засувка й автомат відключається.

Недоліком електромагнітного привода є велика швидкість руху й удари в механізмі. Перевагою електродвигунного привода є плавний хід механізму й відсутність ударів, однак потужність, споживана електродвигуном, більша, ніж потужність, необхідна для взведення пружини.

Одним з найважливіших вузлів будь-якого автомата є механізм вільного розчіплювання. Цей механізм передає рух від привода до контактів, утримує контакти у включеному положенні робить звільнення контактів.

При відключенні автомата механізм фіксує контакти в положенні «ВІДКЛЮЧЕНО», підготовляє автомат до нового включення, унеможливорює утримування контактів у включеному положенні при наявності ненормального режиму у захищасьому колі. Звичайно механізм являє собою систему шарнирно-зв'язаних важелів, що з'єднують привод включення із системою рухомих контактів, які зв'язані із відключаючою пружиною. Конструкції механізмів вільного розчіплювання досить різноманітні, однак дія їх подібно представленому на рис.4.1. Слід зазначити, що вимикаючі контактні пружини в

автоматичних вимикачах розвивають зусилля в десятки, сотні й навіть тисячу кілограмів, а система важелів механізму вільного розчіплювання будується так, що для розчіплювання досить зусилля в десятки максимум у сотні грамів. Це дозволяє конструювати ці механізми легкими й високої чутливості.

Самі розчеплювачі являють собою елемент, що контролює величину відповідного параметра захисту мережі і дають сигнал на відключення автомата, коли ця величина досягне заданого уставкою значення. Можливість регулювати уставку розчеплювача дозволяє здійснювати селективний захист мережі.

Залежно від виконуваних функцій захисту розчеплювачі бувають:

- максимального струму, миттєвої або вповільненої дії (останній використовують як розчеплювач перевантаження або як селективний);
- мінімальні, для відключення автомата при зниженні напруги нижче певного рівня;
- відключаючі, для дистанційного відключення автомата, що спрацьовує при подачі на нього напруги;
- зворотного струму, що спрацьовують при зміні напрямку струму;
- теплові, що спрацьовують в залежності від величини струму і часу його протікання, які застосовують зазвичай, для захисту від перевантаження;
- комбіновані, що спрацьовують при поєднанні низки факторів.

Нижче розглянуті особливості конструкцій деяких вимикачів та методики контролю їх технічних характеристик.

3 Методики контролю електричних характеристик автоматичних вимикачів

Перевірка стану ізоляції

У всіх електричних апаратах напругою до 1000 В необхідно перевіряти стан ізоляції. При цьому опір ізоляції вимірюють за допомогою мегомметрів з номінальною напругою 1000 В. Електричну міцність перевіряють випробуванням ізоляції підвищеною напругою змінного струму величиною 1000В тривалістю одну хвилину.

Вимірювання опору ізоляції і випробування її підвищеною напругою треба проводити після попередньої підготовки обладнання. Як правило, одночасно випробують ізоляцію цілих приєднань, тобто групи електрично зв'язаних апаратів спільно з їх колами. Опір одного приєднання має бути не менше за 1 МОм. При більш низькому опорі випробувані кола роз'єднують на більш дрібні групи і вимірюють опір у кожній з них окремо аж до відшукування елемента зі зниженим опором.

Перед випробуванням ті елементи електроустаткування, які не розраховані на величину випробувальної напруги відключають. При необхідності ці апарати випробують окремо відповідно до заводських інструкцій з їх експлуатації.

Опір ізоляції апаратів із номінальною напругою 24 і 48 В вимірюють мегомметром з номінальною напругою не більше 250 В. Опір ізоляції блоків з

напівпровідниковими елементами вимірюють мегомметром на 100 В, при цьому діоди, транзистори та аналогічні елементи мають бути зашунтовані.

При виявленні в пристроях елементів зі зниженим опором ізоляції, наприклад, у котушок контакторів, такі елементи заміняють. При зволоженні ізоляції застосовують сушіння гарячим повітрям або підігрівом за рахунок пропускання по обмотці струму допустимої величини.

При відсутності випробувальної установки випробування ізоляції підвищеною напругою допускається проводити мегомметром з номінальною напругою 2500 В протягом 1 хвилини.

Вимірювання опору обмоток постійному струму

Вимірювання опору обмоток електричних апаратів постійному струму проводять при введенні його в експлуатацію. Після вимірювань результати порівнюють з даними, наведеними в технічних паспортах на відповідне устаткування. При цьому відхилення від номінальних даних не повинно перевищувати 10%. Вимірювання опору виконують також при відсутності на котушках маркування, при невідповідності зазначеної на них напруги проектній величині і т.п. Вимірювання здійснюють методом амперметра-вольтметра або за допомогою мікроомметрів та мостів.

Перевірка контактної системи

Зазори вимірюють при розімкнутих контактах за допомогою щупів, шаблонів, лінійок і нутромірів. Найбільш зручно користуватися спеціально виготовленими шаблонами. Шаблони являють собою брускочки прямокутного перерізу з ізоляційного матеріалу чи металу, в яких товщина одного з кінців відповідає мінімально допустимому зазору в контактах, а другого - максимально допустимому. Перший кінець шаблона повинен вільно проходити між контактами, а другий не проходити зовсім або входити в зазор між контактами з деяким зусиллям.

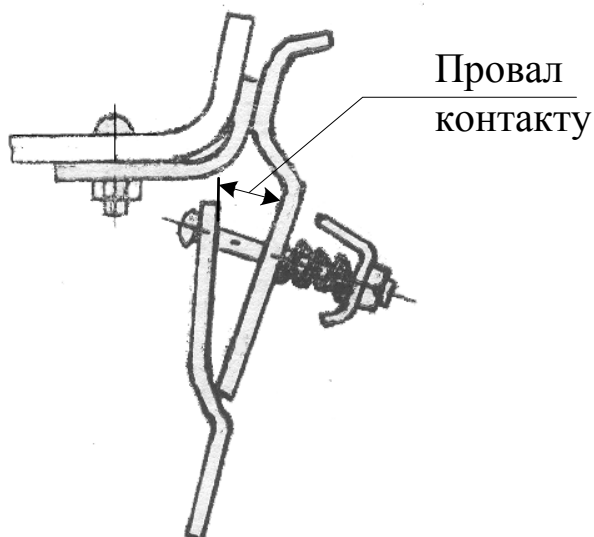


Рисунок 4.2 – Визначення провалу контактів

Провал контактів у залежності від їх конструкції визначають безпосередньо або побічно виміром зазору до упору рухомого контакту (рис. 4.2) і оцінкою можливого ходу контакту.

Початкове натиснення контакту визначають в такий спосіб (рис. 4.3, а). Між рухомим контактом і його упором закладають смужку цигаркового паперу на контактні відзначають місце початкового зіткнення і на рухомий контакт надягають петлю з кіперної стрічки. Петлю зачіпляють пружинним динамометром і відтягують у напрямку, перпендикулярному до поверхні контактів у місці початкового зіткнення доти, поки можна буде пересунути папір, затиснутий між контактом і упором. Показання динамометра в цей момент відповідає початковому натисненню контакту.

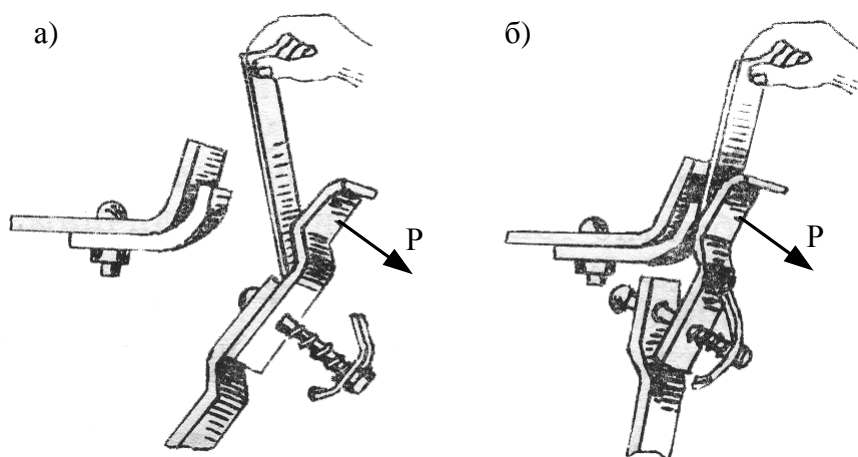


Рисунок 4.3 – Визначення початкового і кінцевого натиснення контактів

Кінцеве натиснення вимірюють при замкнутих контактах в такий же спосіб, але папір при цьому закладають між самими контактами (рис. 4.3, б).

Визначення параметрів спрацьовування

Визначення параметрів спрацьовування електромагнітних апаратів проводять після їх остаточного регулювання, виміру натиснення, зазору і провалу контактів, а також вимірювання опору обмоток постійному струму в холодному стані апарата. Схема вимірювання на змінному струмі показана на рисунку 4.4.

Слід підкреслити, що звичайно величини напруги спрацьовування апаратів, зазначені в паспортах, відповідають їх нагрітому стану. Виміри ж в умовах експлуатації проводять, як правило, на холодному апараті, тому що попередній прогрів котушок потребує значних витрат часу. Крім того, дійсну температуру нагрітої котушки важко контролювати в процесі вимірів, тому в отримане значення напруги спрацьовування треба внести відповідну поправку, яку знаходять за формулою

$$\Delta U = U_{\text{наг}} - U_{\text{хол}} = U_{\text{хол}} \left(\frac{235 + \vartheta_{\text{наг}}}{235 + \vartheta_{\text{хол}}} - 1 \right),$$

де $U_{наг}$ – напруга спрацьовування апарата у нагрітому стані ;
 $U_{хол}$ – напруга спрацьовування апарата у холодному стані ;
 $\vartheta_{наг}, \vartheta_{хол}$ – температури апаратів в нагрітому і холодному стані
 відповідно.

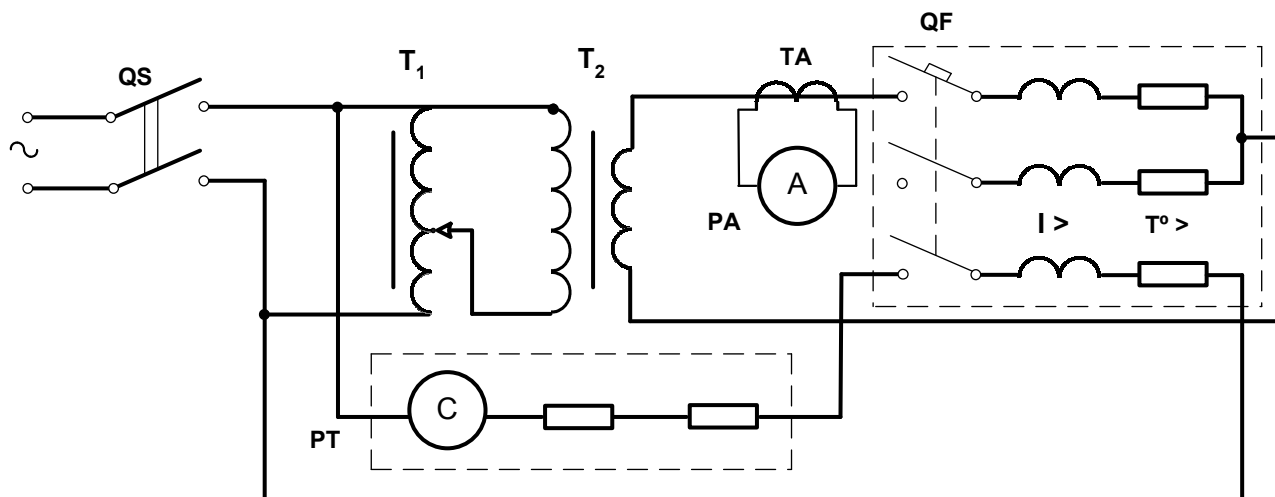


Рисунок 4.4 – Схема вимірювання параметрів спрацьовування

Величину $\vartheta_{хол}$ приймають рівною температурі навколишнього середовища, яку визначають як середнє арифметичне показань декількох термометрів, розташованих у радіусі (1÷2) м від апарата. Температуру $\vartheta_{наг}$ приймають рівною 70°C.

Для апаратів постійного струму напругу і струм спрацьовування визначають двічі при різних полярностях напруги на котушці, якщо не передбачена робота апарата при визначеній полярності.

Час спрацьовування електромагнітних апаратів встановлюють за допомогою електричних секундомірів за типовими схемами.

4 Особливості контролю електричних параметрів окремих видів автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі типу А-3100

В обсяг перевірок автоматичних вимикачів типу А-3100 входять перевірки всіх розчеплювачів і стану ізоляції.

Уставки розчеплювачів вимикачів серії А-3100 в умовах експлуатації не регулюються. Більше того, після калібрування на заводі-виробнику кришки розчеплювачів опечатують. Для оцінки придатності вимикачів до подальшої експлуатації перевіряють тільки відповідність їх фактичних уставок паспортним даним.

Початкові струми спрацьовування розчеплювачів (при температурі навколишнього середовища +25°C), а також необхідний час остигання теплового елемента при перевірках визначені паспортними даними автомата.

Випробування теплових розчеплювачів передбачають:

- 1) перевірку спрацьовування вимикача при полюсному навантаженні струмом, рівним дво- або триразовому номінальному струму розчеплювача;
- 2) перевірку характеристик теплових елементів при одночасному навантаженні всіх полюсів дво- або триразовим (у залежності від типу автомата) струмом. Як джерело змінного струму використовують навантажувальні трансформатори та інші пристрої, що забезпечують необхідну величину струму. Час спрацьовування повинен знаходитися в межах, зазначених у паспорті на вимикач. Якщо температура повітря при випробуваннях відрізняється від 25⁰С, то випробувальний струм для відповідної температури беруть з табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Величини струму перевірки теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів серії А 3100 при різних температурах навколишнього середовища

Виконання вимикача	Ном. струм розчеплювача, А	Випробувальний струм, А при температурі навколишнього середовища, °С								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
3110	15	37	35	34	33	32	30	29	27	25
	20	48	46	44	43	42	40	38	37	35
	25	59	57	55	54	52	50	48	47	45
	30	74	71	68	66	63	60	57	54	50
	40	96	91	89	86	83	80	77	74	70
	50	114	111	109	106	103	100	97	90	90
	60	137	133	131	127	124	120	119	113	109
	70	157	154	151	150	144	140	136	138	129
	85	190	187	187	182	174	170	166	162	156
	100	228	224	218	212	206	200	194	187	180
3160	15	34	33	32	32	31	30	29	29	28
	20	45	44	43	42	41	40	39	39	37
	25	57	56	54	53	51	50	49	47	46
	30	67	66	64	63	62	60	59	57	55
	40	90	88	86	84	82	80	78	76	74
	50	114	112	109	106	103	100	97	94	91
3120	15	50	50	49	48	46	45	44	43	41
	20	67	66	65	64	62	60	59	57	55
	25	84	83	81	80	77	75	73	71	69
	30	101	99	97	96	92	90	88	85	83
	40	134	132	130	128	123	120	117	114	110
	50	168	165	162	161	154	150	146	143	138
	60	202	198	194	193	184	180	176	171	166
	80	269	264	259	257	246	240	234	228	221
	100	336	330	324	321	306	300	293	280	276

Продовження таблиці 4.1

Виконання вимикача	Ном. струм розчеплювача, А	Випробувальний струм, А при температурі навколишнього середовища, °С								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
3130	120	403	396	389	385	369	360	351	342	331
	140	467	462	454	449	431	420	410	399	386
	170	571	561	551	546	523	510	497	485	469
	200	572	660	648	642	615	600	585	570	552
	250	840	825	810	803	796	750	731	713	690
3140	300	1002	990	972	963	923	900	878	858	828
	350	1176	1155	1134	1124	1076	1050	1024	978	966
	400	1344	1310	1296	1284	1230	1200	1170	1140	1104
	500	1680	1651	1620	1605	1538	1500	1463	1425	1380
	600	2016	1080	1944	1926	1845	1800	1755	1710	1656

Час спрацювання вимикача після подачі випробувального струму вимірюють секундоміром типа СМ-60. У справних вимикачів він має знаходитися у межах, зазначених у таблці 4.2. Якщо час спрацювання виходить за межі, вказані в таблиці 4.2, розчеплювач перевіряють за початковою величиною струму спрацювання.

3) вимірювання початкового струму спрацювання у вимикачів, час спрацювання яких не збігається з даними паспортів. Початковий струм спрацювання для вимикачів типу А-3160 дорівнює 1,35; а для інших – 1,45 номінального значення струму розчеплювача. Вимикач має спрацювати протягом 2 год. для А-3160 і протягом 1 год. для інших вимикачів. При навантаженні одного полюса автомата початковий струм спрацювання збільшують приблизно на 25 – 30 % у порівнянні з початковим струмом спрацювання при навантаженні всіх трьох полюсів автомата.

Повторна перевірка вимикача після спрацювання можлива тільки через 2,5 хв для вимикачів типу А-3120, через 3 хв. – для А-3130, через 4 хв. – для А-3140, і через 1 хв. – для А-3110 і А-3160.

Електромагнітні розчеплювачі перевіряють для кожного полюса окремо. При цьому спочатку на полюс подають струм, величина якого на 15% нижче струму уставки (для вимикача типу А-3110 цей струм має бути нижче струму уставки на 30%). При такому значенні струму вимикач не повинен відключатися. Потім випробувальний струм декілька разів підвищують аж до відключення автомата. Струм спрацювання у справного вимикача не повинен перевищувати струм уставки більше ніж на 15% (у автоматів А-3110 – більше ніж на 30%).

Електромагнітні елементи комбінованих розчеплювачів, відповідно до рекомендацій заводу-виготівника, перевіряють у такому порядку. До навантажувального пристрою підключають еквівалентний опір, рівний повному опору кола вимикача. Регулюючим пристроєм встановлюють струм на 30% нижче уставки для вимикачів типу А-3110 і на 15% нижче для інших вимикачів. Не змінюючи значення встановленого струму від навантажувального пристрою, відключають еквівалентний опір і замість нього по черзі підключають всі три полюси вимикача. При справних розчеплювачах вимикач не повинен відключатися.

Таблиця 4.2 – Час спрацьовування теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів типу А-3100 при навантаженні всіх полюсів одночасно триразовим (для А-3100, А-3160 – дворазовим) номінальним струмом

Тип вимикача	Номінальний струм розчеплювача, А	Випробувальний струм при температурі +25°C, А	Час спрацьовування, с	Максимально допустимий час випробувань струмом, с
А 3110	15	30	19-27	50
	20	40	27-37	70
	25	50	35-45	90
	30	60	55-65	130
	40	80	50-80	160
	50	100	80-100	200
	60	120	70-90	180
	70	140	75-95	190
	85	170	110-140	240
А3160	100	200	100-150	240
	15	30	15-20	40
	20	40	18-23	45
	25	50	18-27	50
	30	60	28-35	70
	40	80	35-45	90
	50	100	58-78	150
А3120	15	45	18-22	45
	20	60	18-22	45
	25	75	24-30	60
	30	90	28-38	70
	40	120	40-50	100
	50	150	50-60	120
	60	180	50-60	120
	80	240	70-60	160
	100	300	60-70	140

Після цього еквівалентний опір знову приєднують до навантажувального пристрою і встановлюють струм, значення якого на 30% вище струму уставки для вимикача типу А-3110 і на 15% вище для інших. Потім, не змінюючи встановленого значення струму, еквівалентний опір відключають і на його місце підключають по черзі усі полюси автомата. В усіх випадках підключення вимикач має відключитися.

Щоб переконатися, що відключення відбулося від електромагнітних розчеплювачів, необхідно одразу після відключення спробувати включити вимикач. Якщо вмикання пройшло нормально, значить він був відключений електромагнітним розчеплювачем, а в протилежному випадку – тепловим.

Дистанційний розчеплювач перевіряють за надійним і чітким відключенням вимикача при подачі на його обмотку керуючої напруги, рівної 75 і 105 відсотків від номінального значення.

Автоматичні вимикачі типу АП-50

Перевірку теплових розчеплювачів вимикачів АП-50 виконують одночасно для усіх трьох полюсів. При навантаженні одного полюсу величина струму спрацювання підвищується приблизно на 25-30% у порівнянні зі струмом спрацювання при навантаженні усіх полюсів вимикача. При цьому вимикачі повинні:

а) при струмі 1,1 номінального струму розчеплювача не спрацьовувати протягом 1 год.;

б) при струмі 1,35 номінального струму розчеплювача спрацьовувати за час не більше 30 хв.;

в) при струмі, що в 6 раз перевищує номінальну величину, спрацьовувати протягом 1,5 – 10 с.

Повторні включення вимикача після відключення його тепловим елементом дозволяється проводити не раніше, ніж через 2 хв.

Перевірку електромагнітних розчеплювачів у вимикачів, що не мають теплових розчеплювачів, виконують включенням кожного полюса на навантажувальний пристрій. Величину випробувального струму встановлюють на 15% нижче струму уставки. При цьому автомат не повинен вимикатися. Потім випробувальний струм піднімають до струму спрацювання. При цьому цей струм не повинен перевищувати струм уставки більш ніж на 15%.

Перевірку електромагнітних розчеплювачів вимикачів типу АП-50 проводять для кожного з полюсів окремо і виконують у такий спосіб:

- навантажувальний струм від випробувального пристрою встановлюють на еквівалентному опорі, що дорівнює опорі одного полюса вимикача (тепловий, електромагнітний розчеплювачі, контакти вимикача);

- не змінюючи величини випробувального струму, переключають коло з еквівалентного опорі по чергово на кожний з полюсів вимикача, який випробують;

- при струмі нижче струму уставки на 15% вимикач не повинен спрацьовувати;

- при струму більше струму уставки на 15% – має відбутися чітке вимикання від електромагнітного елемента.

Струм спрацьовування електромагнітних розчеплювачів автоматичних вимикачів типу АП-50 наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики автоматичних вимикачів типу АП-50

Тип вимикача	Номинальний струм автомата, А	Номинальний струм розчеплювача, А	Уставка струму миттєвого спрацьовування електромагнітного розчеплювача	Максимальний струм вимикача, кА
АП – 50Б	63	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63	10 I _{НОМ}	-
АП -50 – 3МТ	50	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50;	3,5 I _{НОМ} ± 15% 8 I _{НОМ} ± 20% 11 I _{НОМ} ± 20%	Для I _{НОМ} 1,6 А – 0,3 Для I _{НОМ} 2,5 А – 0,4 Для I _{НОМ} 4 А – 0,6
АП -50 – 2МЗТО	50	10; 16; 25; 40; 50	3,5 I _{НОМ} ± 15% 8 I _{НОМ} ± 20% 11 I _{НОМ} ± 20%	Для I _{НОМ} 6,4 А – 0,8 Для 10 А та більше – 1,5

Щоб впевнитись, що вимикання відбулося від електромагнітного, а не теплового розчеплювача, необхідно після кожного відключення вимикача миттєво його включити. Якщо вимикач включається нормально, то вимикання відбулося від електромагнітного елемента. У випадку спрацювання теплового елемента розчеплювача – повторно вимикач не включиться.

Автоматичні вимикачі типу А-3700

Перевірка максимальних теплових розчеплювачів вимикачів типу А-3700.

Перевірку проводять випробувальним струмом, рівним триразовому номінальному струму розчеплювача, почерговим провантаженням усіх полюсів вимикача.

Порядок виконання перевірки аналогічний порядку, наведеному для вимикачів типу А-3100.

Струми при температурах, відмінних від 40⁰С, наведені в таблицях 4.4 і 4.5. Час спрацьовування вимикача має відповідати межам, зазначеним у таблиці 4.6.

Перевірка максимальних електромагнітних розчеплювачів вимикачів типу А-3700

Перевірку електромагнітних розчеплювачів у вимикачах, що не мають теплових елементів, проводять аналогічно перевірці вимикачів типу А-3100. Допустимі відхилення струмів спрацювання наведені в технічних описах (паспортах) автоматичних вимикачів типу А-3700.

Перевірку електромагнітних розчеплювачів, з'єднаних послідовно з тепловими елементами, проводять аналогічно з перевіркою таких розчеплювачів у вимикачах типу А-3100.

Таблиця 4.4 – Величини струму перевірки теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів серії А3710 при різних температурах навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища, °С	Випробувальний струм вимикача при номінальному струмі теплового розчеплювача, А										
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160
10	54	67	84	110	141	175	212	269	339	424	538
12	63	67	83	100	139	174	210	267	337	421	534
14	53	66	83	108	138	172	209	265	334	418	530
16	53	66^	82	107	137	171	207	263	332	415	527
18	52	65	82	106	135	169	206	261	329	411	523
20	52	65	81	105	134	167	204	259	327	408'	519'
22	51	64	80	104	132	166	203	257	324	405	515
24	51	64	80	103	131	164	201	255	321	402	511
26	51	63	79	103	130	162	199	253	319	398	507
28	50	63	78	102	128	160	198	252	315	395	504
30	50	62	78	100	127	159	196	250	313	392	500
32	49	62	77	100	126	157	195	248	311	389	495
34	49	61	76	99	124	155	193	246	308	385	492
36	46	61	76	98	123	153	192	244	305	381	438
38	48	60	75	97	121	151	190	242	302	378	483
40	48	60	76	96	120	150	189	240	300	375	400

Таблиця 4.5 – Величини струму перевірки теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів серії А 3720, А 3730, А 3740 при різних температурах навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища, °С	Випробувальний струм теплового розчеплювача при його номінальному струмі, А							
	А-3700			А-3730 і А-3740				
	160	200	250	250	320	400	500	630
10	536	679	849	856	1106	1376	1698	2141
12	532	675	843	849	1097	1366	1686	2120
14	529	669	837	843	1087	1355	1674	2109
16	525	664	831	836	1078	1344	1658	2080
18	521	659	824	829	1068	1332	1647	2075
20	518	654	818	822	1058	1320	1631	2055
22	514	649	811	815	1050	1308	1619	2039
24	510	643	804	807	1039	1296	1604	2019
26	506	638	797	800	1030	1286	1592	2005
28	503	633	791	793	1020	1275	1582	1994
30	499	627	784	787	1011	1861	1571	1979
32	495	622	777	780	1000	1248	1556	1960
34	491	616	771	772	991	1246	1541	1943
36	487	610	763	765	980	1224	1527	1920
38	483	605	756	757	970	1212	1515	1909
40	480	600	750	750	960	1200	1500	1890

Таблиця 4.6 – Час спрацьовування теплових розчеплювачів автоматичних вимикачів серії А-3700 при навантаженні кожного полюса триразовим номінальним струмом

Струм вимикача	Номінальний струм, А	Випробувальний струм при температурі +40°С	Час спрацьовування, с	Максимально допустимий час випробувань під струмом, с
А-3710	16	48	22-25	70
	20	60	44-51	100
	25	75	61-68	140
	32	96	50-58.	130
	40	120	37-48	100
	50	150	49-54	100
	63	189	38-45	100
	30	240	31-38	70
	100	300	50-75	130
	125	375	32-39	70
	160	400	69-75	130
А-3720	160	480	50-57	130
	200	600	45-57	130
	250	750	55-73	130
А-3730	200	750	23-28	100
	250	960	30-35	100
А-3740	400	1200	50-55	100
	500	1500	65-75	190
	630	1890	66-75	190

Контактна система автоматичних вимикачів типу А-3700 складається з рухомих контактів і контактів струмообмежуючого або компенсаційного пристрою. Струмообмежувачі пристрої забезпечують швидке розмикання контактів при проходженні через них струмів короткого замикання незалежно від дії розчеплювачів максимального струму і механізму вільного розчіплювання.

Селективні вимикачі постачають з компенсаційними пристроями, які призначені для компенсації електродинамічних сил, що відкидають контакти. Цей пристрій надійно притискує рухомий контакт до нерухомого при протіканні по них струму короткого замикання протягом заданого часу.

Напівпровідникові розчеплювачі дозволяють регулювати уставку струму в зоні короткого замикання, час спрацьовування в зоні короткого замикання і в зоні перевантаження. Струмочасові характеристики вимикачів з напівпровідниковими розчеплювачами наводяться у паспортах на відповідні апарати.

Налаштування напівпровідникового розчеплювача проводять подачею в блок керування розчеплювача напруги, рівної 0,8-1,15 номінального значення, з наступним пропусканням через полюси вимикача струму, рівного $1,25 I_{ном}$.

Обертанням ручки « $I_{ном}$ струм» у бік зменшення або збільшення домагаються такого її положення, в якому при струмі $1,2 I_{ном}$ вимикач протягом 800 с не спрацьовує, а при струмі $1,3 I_{ном}$ контакти розмикаються за час не більше 800 с.

Зняття характеристики витримки часу в зоні перевантаження проводять в такий спосіб. Ручку «Секундне перевантаження» встановлюють в середнє положення, вимикач включають і через його полюси пропускають струм, рівний $5 I_{ном}$. Час вимірюють з моменту подачі струму до моменту спрацьовування вимикача. Вимірювані значення часу і струму повинні бути в межах часо-струмової характеристики. Змінюючи кратність струму стосовно номінального, одержують повну характеристику часу спрацьовування вимикача і встановлюють задану уставку за часом у зоні перевантаження.

Перевірку уставки струму спрацьовування проводять у такий спосіб. Ручку $I/I_{ном}$ «Коротке замикання» встановлюють на кратність спрацьовування, близьку до заданої, і подають струм на головні контакти вимикача. Обертанням ручки $I/I_{ном}$ «Коротке замикання» домагаються відключення вимикача. Цю операцію треба проводити швидко, тому що тримати вимикач під струмом, рівним $5 - 6 I_{ном}$, дозволяється не більше 20 с з наступною перервою не менше 20 хвилин. Розкид значень струму спрацьовування в зоні короткого замикання може знаходитися в межах від 0,9 до 1,1 від заданої уставки при протіканні струму одночасно по двох полюсах вимикача і від 0,8 до 1,2 – при протіканні струму по одному або трьох полюсах.

Уставку витримки часу спрацьовування в зоні короткого замикання визначають методом послідовного наближення при пропусканні через полюси вимикача такого струму, величина якого перевищує значення уставки в зоні короткого замикання на 20-25%. Розкид часу спрацьовування має бути не більше 10% від заданого значення часу спрацьовування вимикача.

Перевірку уставок виконують на вертикально встановленому вимикачі. Розкид струмів спрацьовування електромагнітних і напівпровідникових розчеплювачів має бути в межах 5% струмів уставки. Для пропускання через полюси вимикача струму необхідної величини можна використовувати навантажувальні пристрої як постійного, так і змінного струму. Перевірку значення струму уставки струмообмежуючого вимикача виконаного з напівпровідниковим розчеплювачем проводять при знятому блоку керування і закорочених вимірювальних елементах.

При випробуванні дистанційного привода перевіряють час вмикання і вимикання вимикача при номінальній напрузі в колах оперативного струму. Час вмикання і вимикання має бути не більше 0,3с. Дистанційний привод повинен надійно здійснювати увімкнення і вимкнення, а також автоматичний звід вимикача при напрузі на затискачах від 0,85 до 1,1 його номінального значення. Увімкнення і вимкнення дистанційним приводом здійснюють не менше 3 разів підряд з інтервалом між циклами 5с. Привод вважається

витримавшим випробування, якщо він спрацьовує чітко, без заїдань і зупинок у проміжних положеннях.

Перевірка розчеплювача мінімальної напруги полягає в забезпеченні надійного відключення вимикача без витримки часу при напрузі на котушці нижче 0,2 її номінального значення при постійному струмі і нижче 0,3 її номінального значення при змінному струму. Вимикач не повинен вимикатися при напрузі на котушці, рівній 0,55 її номінального значення, і не повинен перешкоджати увімкненню при напрузі з котушці, рівній 0,85 номінального значення.

Автоматичні вимикачі типу АК-50

Автоматичні вимикачі типу АК-50 випускають з уставками струму відсічки на п'яти, семи- і десятикратний струм номінального значення. Розчеплювач максимального струму має магнітну систему соленоїдного типу. Залежна характеристика в зоні перевантаження формується за допомогою гідравлічного плунжера. Вимикачі цієї серії розраховані для роботи без регулювання уставок розчеплювача в умовах експлуатації. Контроль технічного стану зводиться до перевірки відповідності струмочасових характеристик паспортним даним і перевірки стану контактної системи.

При навантаженні вимикача струмом, рівним $1,1 I_{ном}$, він не повинен спрацьовувати протягом 1 години. При струмі, рівному $1,35 I_{ном}$, вимикач повинен спрацювати протягом 30 хвилин. При струмі $6 I_{ном}$ автомат має спрацювати протягом від 3 до 20 с. При струмі, рівному струму відсічки, автомат повинен відключитися за час не більше 0,04 с.

Перевірку контактної системи проводять візуально і виміром опору методом амперметра-вольтметра або мікроомметром. При невідповідності величини опору даним, зазначеним у паспорті, автомат замінюють на новий.

5 Програма роботи

1. Вивчити принцип дії і технічні характеристики автомата, зафіксувати паспортні дані запропонованого автомата.

2. Провести зовнішній огляд вимикача, визначити стан його контактної механізми.

3. Визначити опір ізоляції струмоведучих частин вимикача.

4. Визначити електричні характеристики вимикача:

1. Розчеплювача з залежною характеристикою (теплого чи напівпровідникового).

2. Електромагнітного максимального розчеплювача.

3. Електромагнітного розчеплювача дистанційного керування.

4. Побудувати часострумову характеристику автомата.

5. Скласти протокол випробувань за наданою формою.

6. Провести випробування функціонування автомата на заданих уставках розчеплювачів.

7. Оформити звіт по лабораторній роботі.

6 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненнями до кожного з пунктів програми роботи. Текст звіту треба супроводжувати необхідними схемами, ескізами, рисунками, які пояснюють принцип дії вимикачів, дають стисло характеристику методів контролю основних технічних характеристик автоматичних вимикачів. У звіті повинні бути наведені також відповіді на поставлені контролі питання.

7 Контрольні питання

1. Назвіть найбільш розповсюдженні розчеплювачі автоматичних вимикачів.
2. Що розуміють під терміном "електродинамічна стійкість автоматичних вимикачів" та чим її характеризують?
3. Якщо в каталогах не приведені данні про електродинамічну стійкість, яким параметром слід керуватися при виборі вимикача?
4. Що розуміють під терміном "гранична комутаційна властивість вимикача"?
5. Що називають номінальним струмом розчеплювача автоматичного вимикача?
6. Який струм розчеплювача називають струмом його уставки?
7. Що розуміють під повним часом вимикання вимикача?
8. У яких випадках використовують технічний параметр автоматичного вимикача "повний час відключення"?
9. Чому в автоматичних вимикачах дуже рідко використовують тільки тепловий розчеплювач?
10. Наведіть форму часострумової характеристики автоматичного вимикача з комбінованим розчеплювачем.
11. Наведіть головну умову успішного погашення електричної дуги при відключенні вимикача.
12. Чому у вимикачах передбачено дві пари контактів на кожному полюсі?
13. Назвіть основні елементи дугогасного пристрою вимикача.
14. За рахунок чого у вимикачах забезпечується зносостійкість контактів?
15. З якого матеріалу виготовляють дугогасну камеру вимикача?
16. З якою метою у вимикачах передбачено механізм вільного розчіплювання?
17. Який елемент вимикача забезпечує захист мережі від перенавантаження?
18. Наведіть схему вимірювання параметрів спрацювання вимикачів.
19. Яким чином можна впевнитись, що вимикання вимикача здійснено за рахунок розчеплювача із залежною характеристикою?
20. Якої величини має бути струм при перевірці дії теплових розчеплювачів?

ПРОТОКОЛ

випробувань автоматичного повітряного вимикача /автомата/
типу _____

на _____ А, _____ В, сек _____ с

максимальними розчеплювачами з _____ приводом,
місце установки _____

(підприємство, адреса)

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ І ВИПРОБУВАНЬ

Найменування	Тип	Зав. №	Метрологічні характеристики

1 ОПІР ІЗОЛЯЦІЇ АВТОМАТА І ЙОГО КОТУШОК

Найменування елементів автомата	Опір ізоляції, МОм					
	між фазами			між фазами і землею		
	ЖЗ	ЖК	ЗК	Ж	З	К

2 МІНІМАЛЬНА НАПРУГА СПРАЦЬОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТА,

що відключає, _____ В, що складає _____ %
від номінальної напруги.

3 ПЕРЕВІРКА ДІЇ РОЗЧЕПЛЮВАЧА

Найменування розчеплювача	Напруга спрацювання, В	Струм спрацювання, А	Струм уставки, А	Струм спрацювання, А

4 ПРОВЕДЕНО ПЕРЕВІРКУ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ АВТОМАТОМ

шляхом включень при напрузі оперативного струму

1,15 від номінального _____

0,9 номінального _____

включень при 0,8 номінального _____.

ВИСНОВОК:

Автомат типу _____ для експлуатації _____

Випробування проводив(ла) _____ / _____ /

Лабораторна робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

1 Мета роботи

1. Вивчення принципу дії та особливостей конструкції вимірювальних трансформаторів струму.
2. Дослідження залежності похибки трансформаторів струму від їх навантаження.
3. Одержання уявлення про найбільш поширені схеми включення трансформаторів струму та особливості їх роботи.
4. Засвоєння головних технічних характеристик трансформаторів струму та методика їх визначення.

2 Загальні положення

Трансформатором струму називають статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більш індуктивно зв'язані обмотки, в якому при номінальних умовах роботи струм у вторинних обмотках практично пропорційний первинному струму, а фазовий зсув між ними близький до нуля.

Трансформатори струму призначені для перетворення змінного струму будь-якої величини в змінний, прийнятний за величиною для безпосереднього його вимірювання за допомогою стандартних вимірювальних приладів або для забезпечення роботи вимірювальних реле захисту, а також для ізоляції вимірювальних приладів і вимірювального реле захисту від кіл високої напруги.

Первинну обмотку трансформатора струму включають у коло послідовно з навантаженням силового кола, а вторинну обмотку замикають на вимірювальні прилади або реле, в яких струм має бути пропорційним струму первинного кола.

У трансформаторах струму високої напруги первинна обмотка ізолювана від вторинної на повну робочу напругу первинного кола. Один кінець вторинної обмотки обов'язково заземлюють, тому її потенціал близький до потенціалу землі. Трансформатори струму за призначенням поділяють на трансформатори для вимірювання і для пристроїв захисту, але в багатьох випадках ці функції можуть бути суміщені.

Трансформатори струму для вимірювання призначені для передачі інформації вимірювальним приладам. Для цього їх встановлюють у колах високої напруги або в колах з великим струмом, де безпосереднє підключення вимірювальних приладів неможливе. У такому разі до вторинних обмоток трансформаторів можуть бути підключені амперметри, струмові обмотки ватметрів, лічильників і аналогічних їм приладів.

Таким чином, трансформатори струму для вимірювання забезпечують:

1) перетворення змінного струму будь-якого призначення у змінний струм, що прийнятний для безпосереднього вимірювання за допомогою стандартних вимірювальних приладів;

2) ізоляцію вимірювальних приладів, до яких має доступ обслуговуючий персонал, від кіл високої напруги.

Трансформатори струму для пристроїв захисту призначені для передачі вимірювальної інформації у пристрої захисту або керування. Відповідно до цього трансформатор забезпечує:

1) перетворення змінного струму будь-якої величини в змінний струм, прийнятний для спрацьовування пристроїв релейного захисту;

2) ізоляцію реле, до яких має доступ обслуговуючий персонал, від кіл високої напруги.

Усі трансформатори струму класифікують за признаками:

- за родом установки: трансформатори струму, що призначені для роботи на відкритому повітрі; для роботи у закритих приміщеннях; для вбудовування у порожнини електрообладнання; для спеціальних установок (у шахтах, суднах, електровозах і т.п.);

- за способом установки: прохідні, що призначені для використання у якості введів і які встановлюють у провалі стін, стель або у металевих конструкціях; опорні, що призначені для встановлення їх на опорній площині; встроюванні, що призначені для встановлення їх у порожнині електрообладнання;

- за числом коефіцієнтів: з одним коефіцієнтом і з декількома коефіцієнтами трансформації за рахунок зміни кількості витків первинної або вторинної обмотки або використанням декількох вторинних обмоток з різною кількістю витків, що відповідає різному номінальному вторинному струму;

- за виконанням первинної обмотки: одновиткові та багато виткові;

- за родом ізоляції між первинною і вторинною обмотками: тверда (порцеляна, лита, пресована ізоляція та ін.); в'язка (заливочні компаунди); комбінована (паперовомасляна, конденсаторного типу), газова (повітря, елегаз).

Схема двообмоточного трансформатора струму надана на рисунку 5.1.

Трансформатор являє собою стальне осердя, набране з листової сталі, на яке накладені дві ізольовані одна від одної і від осердя обмотки: первинна з числом витків ω_1 і вторинна з числом витків ω_2 .

При протіканні в первинній обмотці змінного струму I_1 в магнітному колі виникає змінний магнітний потік Φ_1 , внаслідок дії якого у вторинній обмотці наводиться ЕРС E_2 .

При замиканні вторинної обмотки на навантаження в замкнутому колі вторинної обмотки виникає змінний струм I_2 , який, у свою чергу, створює свій магнітний потік Φ_2 , спрямований протилежно основному магнітному потоку Φ_1 .

Роботу трансформатора характеризують рівнянням намагнічуючих сил, згідно з яким геометрична сума намагнічуючих сил первинної й вторинної обмоток утворює результуючу намагнічуючу силу

$$\dot{F}_o = \dot{F}_1 - \dot{F}_2,$$

або

$$\dot{I}_o \omega_1 = \dot{I}_1 \omega_1 - \dot{I}_2 \omega_2,$$

де \dot{I}_o – струм намагнічування, що є частиною первинного струму, який забезпечує результуючий магнітний потік в осерді.

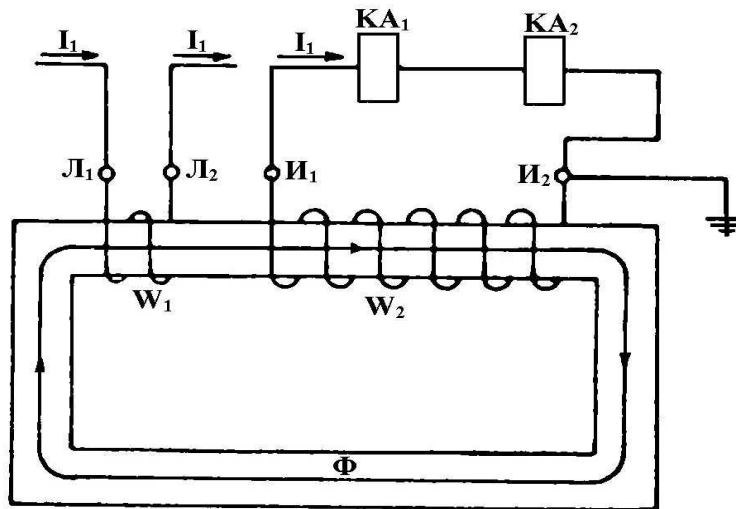


Рисунок 5.1 – Схема двообмоточного трансформатора струму

Розділивши всі члени останнього виразу на ω_2 , отримаємо:

$$\frac{\dot{I}_1}{K} = \dot{I}'_1 = \dot{I}'_0 + \dot{I}_2,$$

де $K = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ – коефіцієнт трансформації;

\dot{I}'_1 – приведені значення первинного струму I_1 до вторинної обмотки;

\dot{I}'_0 – приведені значення струму намагнічування I_0 до вторинної обмотки.

Схема заміщення трансформатора струму надана на рисунку 5.2.

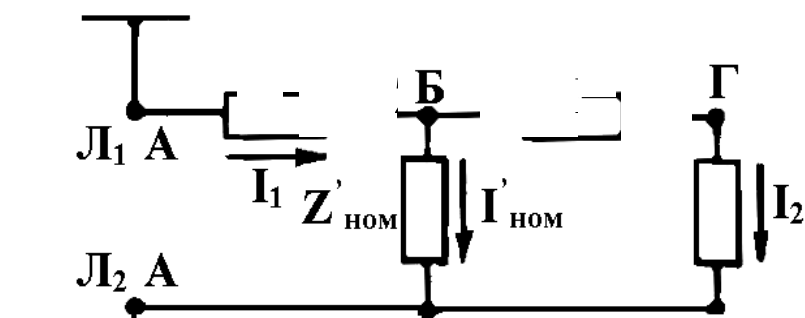


Рисунок 5.2 – Схема заміщення трансформатора струму

На рисунку 2: Z_n – повний опір навантаження; Z_2 – повний опір вторинної обмотки ω_2 ; Z_o' – повний опір намагнічування, приведений до числа витків вторинної обмотки; Z_1' – повний опір первинної обмотки, приведений до числа витків вторинної обмотки.

Зі схеми заміщення видно, що у вторинну обмотку поступає не весь струм I_1' , а тільки його частина – I_2 . Інша його частина витрачається на створення магнітного потоку в осерді I_0' .

Таким чином, в ідеальному трансформаторі $I_1' = I_2$ тільки при $Z_n = 0$ і $Z_o = \infty$. У реальних же трансформаторах опір Z_o має кінцеву величину, що приводить до похибки трансформатора. При вимірюваннях похибка буде тим більша, чим більша величина струму намагнічування I_0' . Очевидно, що його величина буде визначатися характеристикою намагнічування осердя й величиною падіння напруги \dot{U}_2 на сумі опорів Z_2 і Z_n :

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 (Z_n + Z_2).$$

Залежність похибки трансформаторів від співвідношення інших величин, що визначають його роботу, можна прослідити за допомогою векторної діаграми, наданій на рисунку 5.3.

Напруга вторинної обмотки U_2 витрачається тільки на подолання малого опору струмових кіл підключених приладів. Цьому малому значенню напруги (від 1 до 6 В) відповідає мала величина вторинної ЕРС E_2 , а отже, і мала величина відповідного потоку:

$$\Phi_{\max} = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot \omega_2}.$$

Для збудження такого потоку потрібна незначна МРС:

$$\Phi_1 = I_1 \cdot \omega_1,$$

тому в рівнянні магнітної рівноваги трансформатора

$$\dot{I}_1 \omega_1 = \dot{I}_0 \omega_1 + (-\dot{I}_2 \omega_2)$$

нею можна зневажити і вважати, що

$$\dot{I}_1 = -\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \dot{I}_2,$$

тобто вторинний струм, зв'язаний з первинним струмом коефіцієнтом трансформації і протилежний йому за фазою. Струм у правильно підключених приладах співпадає за фазою з первинним струмом.

У трансформаторах струму незалежною величиною є первинний струм. У більшості випадків він у кілька разів перевищує струм I_2 , тому кількість витків первинної обмотки ω_1 може бути невеликою (у багато разів менше ніж ω_2). Так, різниця в кількості витків у первинній і вторинній обмотці приводить до того, що напруга на затискачах первинної обмотки у кілька разів менша за

вторинну напругу. Враховуючи, що вторинна напруга трансформатора складає не більше, ніж декілька вольт, його первинна напруга складає всього декілька сотих вольт.

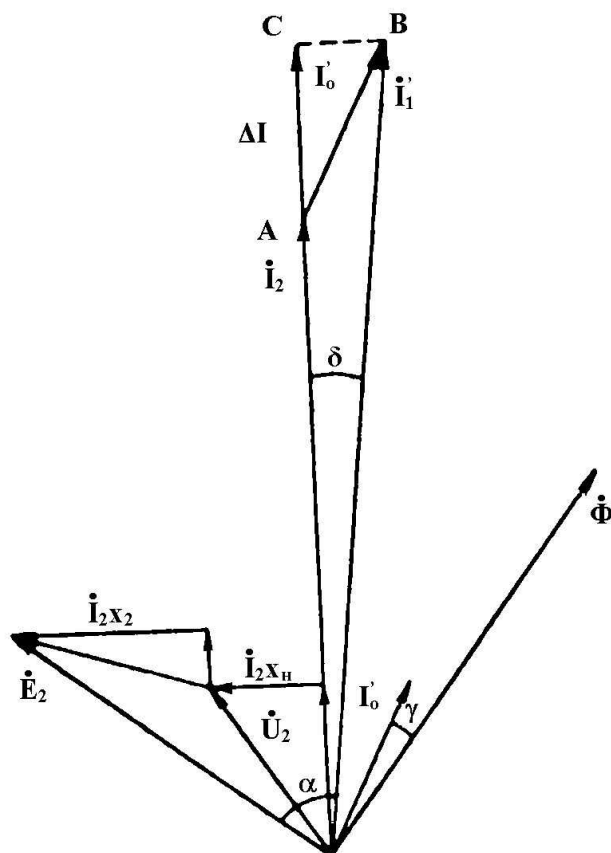


Рисунок 5.3 – Векторна діаграма трансформатора струму

Підвищення опору вторинного кола трансформатора не впливає на струм I_1 , але викликає збільшення $I_0\omega_1$ і зменшення $I_2\omega_2$ тому, що чим більший опір, тим більшою має бути ЕРС E_2 і магнітний потік, що її індукує. У той же час чим більше $I_0\omega_1$, тим далі ми віддаляємося від головної умови роботи трансформатора струму $I_1\omega_1 \approx -I_2\omega_2$. Тому в трансформаторах вказують той найбільший опір у вторинному колі, на який можна замикати вторинну обмотку не виходячи за межі допустимих похибок. Намагнічуючи ампер-витки трансформатора обумовлюють деяку неточність у передачі величини струму - тобто виникне похибка струму і в передачі фази струму – тобто кутова похибка.

Якщо під час роботи трансформатора розімкнути коло вторинної обмотки, то вторинний струм I_2 стане рівним нулю, а первинний струм I_1 залишиться попереднім. Отже весь первинний струм піде на намагнічування осердя:

$$I_1\omega_1 = I_0\omega_1.$$

Оскільки втрати в залізі осердя пропорційні квадрату потоку, то його збільшення призведе до значного нагрівання заліза і температурного розширення, що дуже небезпечно для цілісності ізоляції трансформатора.

Окрім того, ЕРС E_2 пропорційна потоку, тому її збільшення викличе різке підвищення напруги на затискачах вторинної обмотки. Походячи з цієї причини розмикати вторинне коло працюючого трансформатора струму забороняється.

Залежність похибки трансформаторів струму від співвідношення інших параметрів, що визначають його роботу, можна простежити на векторній діаграмі, зображеній на рисунку 5.3.

Векторна діаграма, побудована на основі схеми заміщення (рис. 5.2). При цьому передбачається, що всі опори лінійні і тому при синусоїдальному первинному струмі всі інші величини також синусоїдальні. За початковий вектор у діаграмі прийнятий вектор вторинного струму I_2 . Всі інші величини приведені до числа витків вторинної обмотки.

На векторній діаграмі (рис. 5.3):

\dot{U}_2 – напруга на затискачах вторинної обмотки при наявності струму навантаження:

$$\dot{U}_2 = (R_{нав} + jX_{нав})\dot{I}_2;$$

\dot{E}_2 – ЕРС, що індуктується у вторинній обмотці,

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + (R_2 + jX_2)\dot{I}_2;$$

вектор \dot{E}_2 випереджає вектор струму I_2 на деякий кут α ;

Φ – магнітний потік в осерді, який випереджає вектор E_2 на 90° .

Однак на векторній діаграмі для зручності розгляду він показаний відстаючим на 90° , так як умовний позитивний напрямок прийнято протилежним.

За позитивний напрямок струму у вторинній обмотці приймають напрямок, протилежний позитивному напрямку струму в первинній обмотці: у вторинній обмотці від кінця до початку, а в первинній – від початку до кінця;

I_0' – струм намагнічування, що проходить у схемі заміщення через опір

$$Z_o' = r_o' + jx_o'.$$

Цей вектор випереджає вектор магнітного потоку Φ на кут γ , величина якого залежить від магнітної індукції B і втрат у сталі;

\dot{I}_1' – результуючий вектор первинного струму

$$\dot{I}_1' = \dot{I}_0' + \dot{I}_2,$$

З векторної діаграми видно, що вектор \dot{I}_1' не дорівнює вторинному струму I_2 за величиною ΔI і зсунутий від нього по фазі на кут δ .

Струмову похибку визначають за формулою

$$f_i = \frac{I_2 - \frac{I_1}{K_{ном}}}{\frac{I_1}{K_{ном}}} \cdot 100\% = \frac{K_{ном} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\%.$$

Кутова похибка може бути визначена за допомогою векторної діаграми за величиною кута між векторами I_2 та I_1' (кут δ).

З прямокутного трикутника ОВС

$$\sin \delta = |BC| / I_1',$$

де катет $|BC| = I_0' \cdot \cos(\gamma + \alpha)$, отже

$$\sin \delta = \frac{I_0'}{I_1'} \cos(\gamma + \alpha).$$

Для кутів, що не перевищують декількох градусів, синус кута може бути чисельно рівним самому куту в радіанах:

$$\delta = \frac{I_0'}{I_1'} \cos(\gamma + \alpha), \text{ рад.}$$

По векторній діаграмі можна переконатися, що із збільшенням кута α , який залежить від характеру навантаження вторинної обмотки, кут δ зменшується, а ΔI зростає. Кутова похибка при цьому складає

$$f_\delta = (1 - \cos \delta) \cdot 100\%.$$

Наприклад при куті $\delta = 10^\circ$ кутова похибка не перевищує 1,5%.

Повну похибку визначають як виражене у відсотках відношення діючого значення різниці миттєвих значень первинного і вторинного струмів до діючого значення первинного струму:

$$\varepsilon = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_2 - K_{ном} i_1)^2 dt},$$

де I_1 – діюче значення первинного струму;

T – тривалість періоду струму;

$K_{ном}$ – номінальний коефіцієнт трансформації.

Повна похибка, як і струмова, в загальному випадку визначається наявністю струму намагнічування. Вона враховує також наявність в I_2 і I_0 вищих гармонік, поява яких пояснюється наявністю сталевосердця.

Повна похибка пов'язана з граничною кратністю трансформаторів струму. Ця кратність являє собою найбільше відношення первинного струму до його номінального значення, при якому повна похибка при заданому вторинному навантаженні не перевищує 10% : $\varepsilon \leq 10\%$.

Технічні характеристики трансформаторів струму

До загальних технічних характеристик трансформаторів струму відносять: повну напругу, номінальний первинний струм, номінальний вторинний струм, вторинне навантаження, коефіцієнт трансформації та ін.

1. Номінальною напругою трансформатора струму $U_{1ном}$ називають діючу величину лінійної напруги, при якій має функціонувати трансформатор струму. Цю напругу вказують у паспорті трансформатора. Для вітчизняних трансформаторів прийнята така шкала номінальних напруг, кВ: 0,66; 6,0; 10; 35; 110; 150; 220; 330; 500.

2. Номінальним первинним струмом $I_{1ном}$ називають струм, для вимірювання якого призначений трансформатор. Цей струм являє собою базисну величину, до якої відносять усі інші технічні показники. Для вітчизняних трансформаторів прийнята така шкала первинних струмів, А: 1,0; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000 і т.д. до 40000. Величина цього струму визначається заводом-виготівником, який гарантує нормальну роботу трансформатора при довготривалому проходженні такого струму при нормованій температурі навколишнього середовища, номінальній напрузі і частоті. При цьому температура частин трансформатора не повинна перевищувати нормовану температуру для довготривалої роботи.

3. Номінальний вторинний струм $I_{2ном}$. Під цим струмом розуміють струм, до якого призначені прилади, що мають приєднуватися до вторинної обмотки трансформатора. Як правило, цей струм дорівнює одному або п'яти ампер.

4. Вторинне навантаження трансформатора струму $Z_{2ном}$ відповідає повному опору його зовнішнього кола в Ом-ах. Вторинне навантаження може характеризуватися повною потужністю у вольт-амперах, що споживається ним при повному коефіцієнті потужності і номінальному вторинному струму.

Вторинне навантаження з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi = 0.8$ при якому гарантується встановлений клас точності трансформатора називають номінальним вторинним навантаженням $Z_{2н.ном}$. Відповідна величина вторинного навантаження (в Ом) визначається за формулою

$$Z_{2н.ном} = \frac{S_{2н.ном}}{I_{2ном}^2}.$$

4. Номінальний коефіцієнт трансформації являє собою відношення номінальних струмів первинної $I_{1ном}$ і вторинної $I_{2ном}$ обмоток:

$$K_{ном} = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}}.$$

Іншою характерною величиною для трансформаторів струму є відношення кількості витків вторинної і первинної обмоток:

$$K = \frac{\omega_2}{\omega_1},$$

яка дещо відмінна від $K_{ном}$. Це пояснюється тим, що в робочому режимі трансформатора необхідно компенсувати струм намагнічування, щоб підвищити точність вимірювання. Тому це відношення вибирають дещо меншим ніж коефіцієнт трансформації.

6. Стійкість трансформатора струму до механічних, теплових навантажень, яку характеризують електродинамічною стійкістю і струмом термічної стійкості.

Струм електродинамічної стійкості $I_{дин}$ дорівнює найбільшій амплітуді струму КЗ за весь час його протікання, який витримує трансформатор без пошкоджень, які можуть перешкоджати його подальшій роботі.

Електродинамічна стійкість може бути характеризована кратністю $K_{дин}$, що являє собою відношення струму електродинамічної стійкості до амплітуди номінального первинного струму.

Струм термічної стійкості $I_{терм}$ дорівнює найбільшій діючій величині струму КЗ за проміжок часу t_τ , яку трансформатор витримує протягом усього проміжку часу без нагрівання струмоведучих частин до температури, що перевищує допустиму при струмах КЗ без пошкоджень, які можуть перешкоджати його подальшій роботі.

Температура струмоведучих частин трансформатора при струмі термічної стійкості не повинна перевищувати 200⁰С для струмоведучих частин з алюмінію і 300⁰С – для струмоведучих частин з міді і її сплавів.

7. Клас точності. Клас точності трансформаторів струму характеризує найбільші їх похибки при різних величинах струму у первинній обмотці та вторинного навантаження. Із аналізу векторної діаграми видно, що використання трансформаторів струму вносить у результати вимірів два види похибок: струмову і кутову.

Струмовою похибкою трансформатора струму називають похибку, яку вносить трансформатор при вимірюваннях і яка виникає унаслідок того, що дійсний коефіцієнт трансформації не дорівнює номінальному.

Кутовою похибкою трансформатора струму називають фазовий зсув між векторами первинного і вторинного струмів при такому виборі їх напрямку, щоб для ідеального трансформатора струму цей кут дорівнював нулю.

Типи й основні технічні характеристики ТС напругою до 10 кВ, що застосовують в різних конструкціях КРУ, наведені в таблиці 5.1 та на рисунку 5.4.

Таблиця 5.1 – Типи трансформаторів струму та їх технічні характеристики

Тип ТС	Позначення КРУ	I _{ном} , кА	I _{дин} , А	I _т , кА (3с)	Маса, кг	Номер рис.
ТОЛ-10	К-104, КМ-1 КМ-1Ф К.47, К-49	50 100,150,200 300,400 600,800 1000,1500	17,6 52 100	2,45 4,85-8,75 16 20 31,5	25	4, а
ТЛ-10-1	КЭ-10	50-200 300 400 600 800-3000	51 81	2,5-10 15 31,5	47	4, б
ТЛ10-II	КЭ-6	300, 400 630 800-3000	128	20 31,5 40	47	4, в
ТЛМ-10-1	К-ХХУ1	50,100,150, 200 300,400, 600, 800 1000,1500	17,6-52 100 100	2,8-10,1 18,4; 23 26	27	4, г
ТПЛК-10	КР-10/31,5	10-50 100-400 600,800, 1000, 1500	2,47-14,8 74,5 74,5	0,47-2,36 4,72-18,9 28,3-70,8	47	4, д
ТПЛ-10	К-108, КРУ2-10-20	5-200 300,400	45* 45*	250* 175*	16	4, е
ТПОЛ-10	КРУ2-10-20	600,800. 1000, 1500	48,6-67,5	18-32	18	4, ж
ТЛШ-10	К-ХХVII, КМ-1, КР-10/31,5 КМ-1Ф	2000,3000	81	31,5	26 30	4, з

*Приведена кратність стійкості.

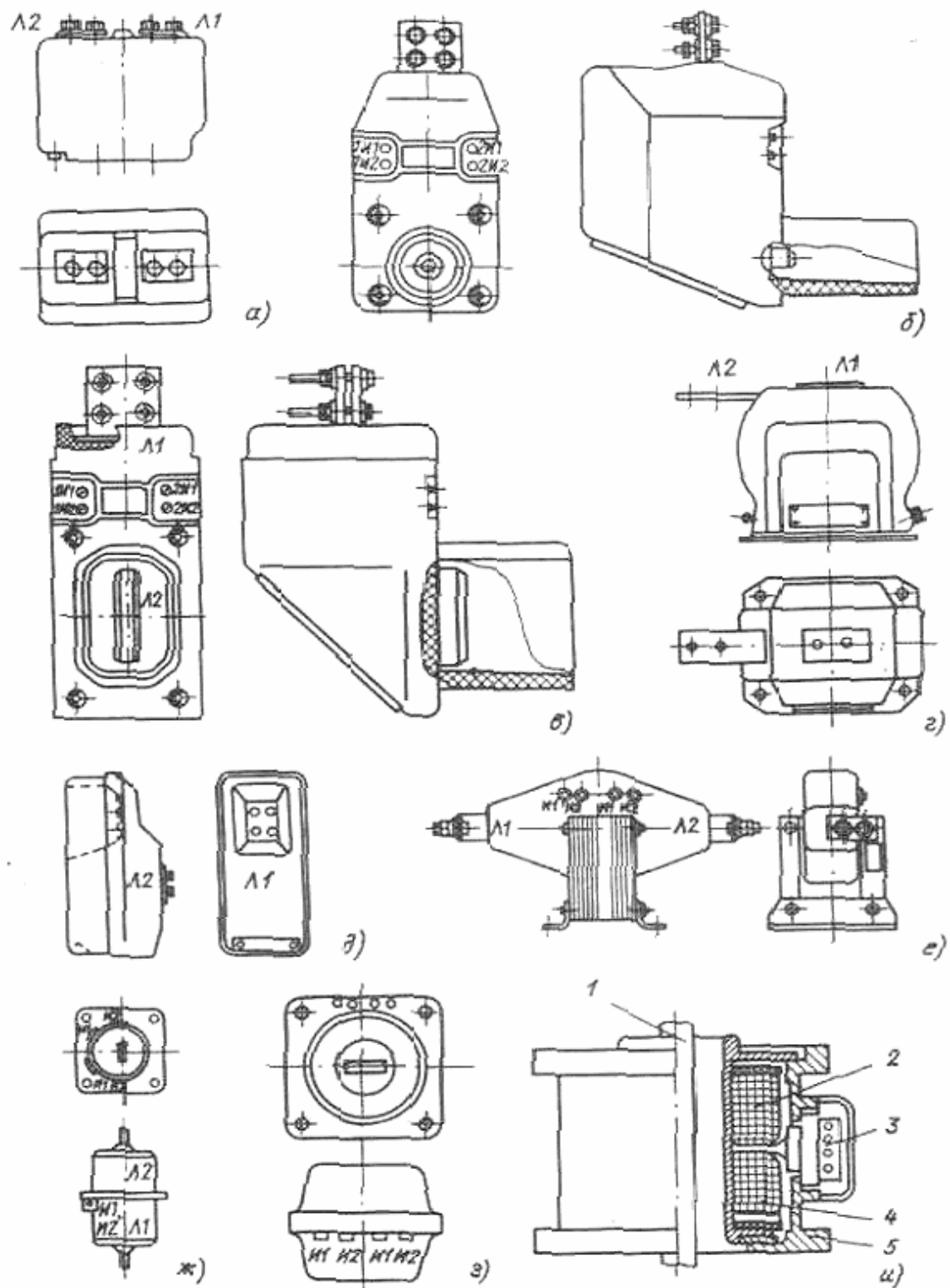


Рисунок 5.4 – Трансформатори струму:
 а - ТОЛ-10; б - ТЛ-10-І; в - ТЛ-10-П; г - ТЛМ-10-І; д - ТПЛК-10;
 е - ТПЛ-10; ж - ТПОЛ-10; з - ТЛШ-10;
 и - элегазовий на 110 и 220 кВ;
 1 - стрижень струмоведучий; 2 - обмотка вторинна;
 3 - затискач контактний; 4 - магнітопровід; 5 - оболонка металева

3 Зміст і методика контролю технічних характеристик вимірювальних трансформаторів струму

В об'єм робіт по контролю технічних характеристик трансформаторів струму входять:

- зовнішній огляд;
- перевірка стану ізоляції;
- визначення полярності виводів;
- перевірка характеристики намагнічування;
- визначення коефіцієнта трансформації.

1. Зовнішній огляд. Звертають увагу на надійність його кріплення, стан ізоляції, стан контактних з'єднань і виводів. Одночасно проводиться їх очищення від пилу і інших можливих забруднень.

2. Перевірка стану ізоляції. Включає вимірювання опору ізоляції і випробування її електричної міцності високою напругою.

Опір вимірюється після очищення трансформатора від пилу і бруду. Для вимірювання звичайно використовують мегомметри на 1000 або 2500 В. Опір ізоляції кожної з обмоток вимірюється як відносно корпусу трансформатора, так і відносно один одного. Величина опору не нормується, однак повинна знаходитися в межах 50-100 МОм для первинної обмотки і не менше за 1МОм для вторинної. При більш низькому рівні опору необхідно висушити трансформатор.

Електричну міцність ізоляції вторинної обмотки визначають випробуванням її високою напругою змінного струму. Після підключення трансформатора до випробувальної установки напругу плавно підіймають до 500В і витримують деякий час на цьому рівні, перевіряючи при цьому струм навантаження випробувальної установки. Якщо при випробуванні не виявиться поштовхів напруги, розрядів, пробойів, іскріння, то напругу підіймають до 1000В і ще раз перевіряють струм навантаження. На цьому рівні напругу підтримують протягом однієї хвилини. При пробойі ізоляції напруга має різко поменшати, а струм – різко зрости. Ці свідчення приладів і є вирішальними при визначенні міцності ізоляції.

3. Визначення полярності виводів трансформатора струму. Для контролю правильного з'єднання трансформатора струму між собою, а також правильного підключення до них реле напруги, ватметрів і лічильників кінці обмоток трансформаторів струму зазвичай маркують. За початок первинної обмотки приймають вивід, приєднаний у бік шин розподільного пристрою, за кінець – вивід, приєднаний у бік лінії, трансформатора і т.п.

Виводи первинної і вторинної обмоток перевіряють по схемі, представлений на рисунку 5.5.

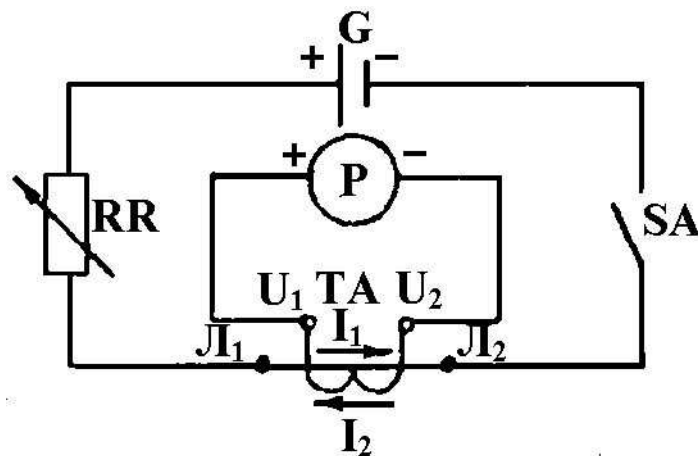


Рисунок 5.5 – Схема перевірки виводів первинної і вторинної обмоток

У схемі використовують джерело постійного струму – акумулятор або суху батарею; магнітоелектричний поляризований прилад, у якому напрям відхилення стрілки залежить від напрямку струму в його обмотці; обмежуючий резистор, величина якого визначається напругою джерела; вимикачі.

Знаючи, що позитивному напрямку струму в первинному колі (від затискача L_1 до затискача L_2) відповідає напрям струму у вторинній обмотці від кінця (затискач U_2) до початку (затискач U_1), можна у напрямі відхилення стрілки приладу визначити однополярні виводи трансформатора. Напрямок відхилення стрілки приладу фіксують в момент замикання контактів вимикача, коли внаслідок перехідного процесу у вторинній обмотці трансформатора за правилом Ленца індукується струм. Наприклад, якщо в момент замикання рубильника SA стрілка приладу при вказаній на рисунку 5 полярності джерела струму відхиляється праворуч, то напрям струму в обмотці приладу буде зліва направо, а у вторинній обмотці трансформатора, навпаки – з права наліво.

Таким чином, правий затиск приладу вкаже кінець вторинної обмотки U_2 , а лівий – її початок U_1 .

4. Перевірка характеристики намагнічування. Важливою характеристикою трансформатора струму є крива намагнічування, за виглядом якої можна судити про справність трансформатора. Зокрема, за виглядом характеристики намагнічування можна визначити: виткові замикання і несправності магнітопроводу, а також можливість спільного використання трансформаторів в схемах диференційних захистів (оскільки при майже співпадаючих характеристиках струми небалансу будуть мінімальними).

Розглянемо схему заміщення трансформатора струму (рис. 5.2), з якої слідує, що частина первинного струму I_1' , який проходить через приведений опір первинної обмотки Z_1' , відхиляється в опір намагнічування Z_o , а частина струму, що залишається I_2 проходить через опір вторинної обмотки Z_2 і опір навантаження Z_n .

При визначенні кривої намагнічування джерело живлення довелося б підключити до первинної обмотки (точки L_1 і L_2), що зажадало б потужних і громіздких джерел живлення, застосування яких в умовах експлуатації не можливо.

Вольт-амперна характеристику знімають при розімкненій первинній обмотці трансформатора (рис. 5.6).

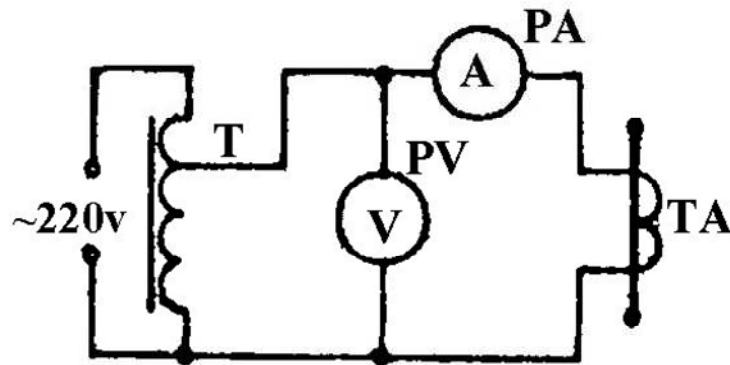


Рисунок 5.6 – Схема визначення вольт-амперної характеристики трансформаторів струму

При новому включенні визначають 10-12 точок і по них будують криву залежності $U_2 = f(I_2)$, яку і порівнюють з типовою характеристикою.

При планових перевірках знімають 3-4 точки, перевіряють їх збіг з характеристикою, яку отримано раніше. При наявності в трансформаторі короткозамкнених витків характеристика різко знижується, що добре видно на рисунку 5.7.

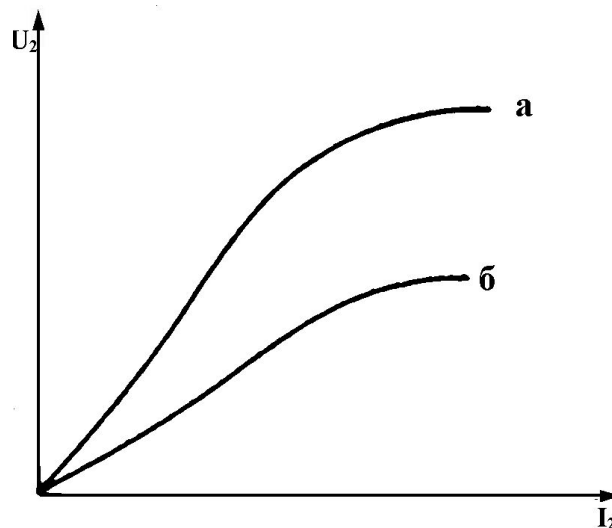


Рисунок 5.7 – Вольт-амперні характеристики трансформатора струму:

*крива а – без закорочених витків;
крива б – із закороченими витками*

Характеристика не повинна бути нижче типової більш ніж на 20%, а від знятої раніше – не більш ніж на 5%.

З схеми видно, що якби можна було подати первинний струм в точки a і L_2 , то результат не змінився б: частина струму пішла б через опори намагнічування Z_o , а інша – у вторинну обмотку Z_2 , Z_n . Але точка a в реальному трансформаторі не існує. Тому живлення можливо подати тільки в точки I_1 і I_2 , що відповідає подачі струму у вторинну обмотку трансформатора. Різниця полягатиме лише у тому, що опір вторинної обмотки в схемі заміщення з'єднаний послідовно з опором Z_o і дає невелику, порядку декількох відсотків, помилку в порівнянні з результатом перевірки первинним струмом. Однак, оскільки всі випробування проводять саме таким методом, цю помилку можна взагалі не враховувати.

5. Визначення коефіцієнта трансформації. Кожний трансформатор характеризується номінальним коефіцієнтом трансформації, що являє собою відношення номінального первинного струму до номінального вторинного струму. При необхідності визначення первинних струмів, коли відомі вторинні, можна використати наближені вирази $I_{ном1} = K \cdot I_{ном2}$, але при цьому має місце деяка помилка, зумовлена тим, що номінальний коефіцієнт не рівний дійсному K_o , так як його величина залежить від режиму роботи трансформатора. Коефіцієнт трансформації вимірюють у відповідності зі схемою, представленою на рисунку 5.8.

У первинну обмотку від навантажувального пристрою подають змінний струм, рівний $0,2 I_{ном1}$. Величину коефіцієнта трансформації отримаємо, взявши відношення показів амперметрів A_1 і A_2 відповідно до формули

$$K_i = \frac{I_{ном.1}}{I_{ном.2}}.$$

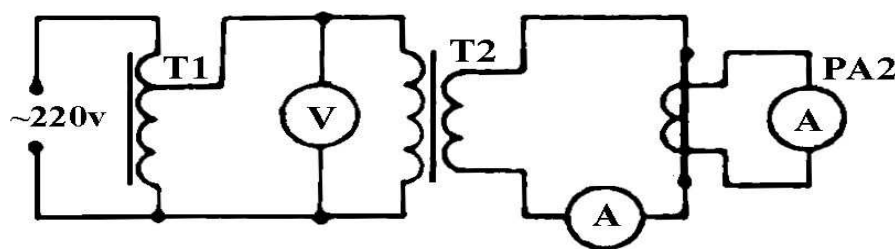


Рисунок 5.8 – Схема вимірювання коефіцієнта трансформації

При перевірці вбудованих трансформаторів необхідно одночасно з вимірюванням коефіцієнта трансформації перевірити правильність маркіровки всіх відпаяк в наступній послідовності. На дві будь-яких відпайки подають напругу від автотрансформатора. Вольтметром визначають виводи, між якими напруга буде максимальна. Потім живлення від автотрансформатора подають на знайдені кінці обмоток. При цьому напругу встановлюють з розрахунку 1В

на один виток. Номінальне число витків береться відповідно до заводських даних. Подальший розподіл напруги на відпайках повинен бути пропорційним відомому числу витків. Коефіцієнт трансформації визначають для кожної відпайки окремо.

4 Програма роботи

1. Засвоїти принцип дії трансформаторів струму.
2. Ознайомитись з конструктивними особливостями трансформаторів струму, що знайшли поширення в системах електропостачання.
3. За допомогою векторної діаграми прослідити залежність похибки вимірювання від навантаження трансформатора.
4. Ознайомитись з головними параметрами трансформаторів струму, що покладені в основу їх вибору при проектуванні систем електропостачання.
5. Розглянути і визначити параметри трансформаторів струму, що визначають їх технічний стан в умовах експлуатації
6. Ознайомитись з методами і схемами визначення параметрів трансформаторів струму, що контролюють під час їх експлуатації.
7. Розглянути можливі схеми включення трансформаторів струму в головні кола трансформаторних підстанцій.
8. Оформити звіт по роботі за встановленою формою.

5 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній формі і містити у собі мету роботи та її зміст з поясненнями кожного з пунктів програми роботи. У звіті належить відобразити: схеми та ескізи, що пояснюють принцип дії трансформаторів струму та їх конструктивні особливості; векторні діаграми, що пояснюють походження і величину похибки при вимірюванні струму; привести і подати коротку характеристику головних параметрів трансформаторів струму, що покладені в основу їх вибору при проектуванні підстанцій; привести стислу характеристику методів контролю технічного стану трансформаторів струму в умовах експлуатації; навести приклади включення трансформаторів струму в головні кола підстанцій. У звіті також можуть бути наведені відповіді на контрольні питання.

6. Контрольні питання

1. Який електричний апарат називають вимірювальним трансформатором струму (ТС)?
2. Для яких цілей використовують вимірювальні ТС?
3. Приведіть схему заміщення вимірювального ТС?
4. Яким рівнянням характеризують роботу вимірювального ТС?
5. Які величини характеризують точність роботи вимірювальних ТС?
6. Чому нормальним режимом роботи ТС вважають режим, близький до режиму КЗ вторинної обмотки?

7. З якою метою визначають полярність виводів ТС?
8. Чим обмежується число вимірювальних приладів і реле, включених у коло вторинної обмотки ТС?
9. Перелічіть основні заходи щодо технічного обслуговування ТС?
10. Яку величину називають струмовою похибкою ТС?
11. Наведіть формулу визначення номінального коефіцієнта трансформації.
12. Які вимоги ставлять до ізоляції ТС?
13. Яку потужність називають “номінальною потужністю ТС”?
14. Чим визначається величина ЕРС у вторинній обмотці?
15. Чим забезпечується клас точності ТС?
16. Яку величину називають номінальним коефіцієнтом трансформації ТС?
17. Чому незадіяні вторинні обмотки ТС повинні бути завжди закороченими?
18. При якій величині струму в первинній обмотці ТС визначають коефіцієнт трансформації?
19. По яких признаках класифікують ТС?
20. Яким чином на кривій намагнічування позначають наявність короткозамкнених витків у вторинній обмотці?

ПРОТОКОЛ
перевірки і випробування трансформатора струму

Місце установки _____ Призначення _____

1. ПАСПОРТНІ ДАНІ

Завод виготівник	Тип	Напруга,кВ	Струм, А	Клас точності	Заводський №	Рік випуску

2. ЗОВНІШНІЙ ОГЛЯД

Зовнішній огляд _____
дефектів не виявлено, дефекти виявлені _____

3. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК

Заводський №	Опір ізоляції відносно землі і між обмотками не нижче, МОм		
	Первинна обмотка	Вторинна обмотка	
		Клас точності	Клас точності

4. ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ

Первинна обмотка випробування напругою _____кВ змінного струму протягом _____ хвилин витримала.

Вторинна обмотка випробування напругою _____кВ змінного струму протягом _____ хвилин витримала .

5. ВИЗНАЧЕННЯ МАРКУВАННЯ ВИВОДІВ ТРАНСФОРМАТОРА

Маркування відповідає (не відповідає) схемі _____

6. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Струм вторинної обмотки								
Напруга на затискачах вторинної обмотки								

Вольт-амперна характеристика

Відхилення характеристики не більше _____%

7. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТРАНСФОРМАЦІЇ

Коефіцієнт трансформації при випробуванні становить _____

ВИСНОВОК: _____

Перевірку і випробування трансформатора

проводив(ла) _____ / _____ /

Лабораторна робота №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

1 Мета роботи

1. Вивчити принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги та особливості їх конструкції.
2. Дослідити залежність похибки трансформаторів напруги від їх навантаження.
3. Одержати уявлення про найбільш поширені схеми підключення трансформаторів напруги та особливості їх роботи.
4. Засвоїти головні технічні характеристики трансформаторів напруги та методику їх визначення.

2 Загальні положення

Відповідно до ДСТУ трансформатором називають статичний електромагнітний апарат з двома і більше обмотками, призначений для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги.

Відповідно до призначення всі трансформатори поділяють на силові та вимірювальні. Силові трансформатори набули широкого розповсюдження у розподільчих мережах для підвищення або зниження напруги, на якій відбувається передача енергії від джерел живлення до місця споживання.

Вимірювальні трансформатори використовують для забезпечення роботи пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки, а також для полегшення процесу обліку електричної енергії та вимірювання її параметрів.

У загальному випадку трансформатор являє собою статичний електромагнітний апарат, дія якого заснована на явищі взаємної індукції. Його використовують для перетворення електричної енергії змінного струму з параметрами U_1 , I_1 в енергію змінного струму з параметрами U_2 , I_2 тієї ж частоти.

Принцип індуктивного зв'язку двох обмоток вперше було відкрито Фарадеєм у 1831 р., а в 1880 р. був розроблений перший трансформатор.

Трансформатор складається з феромагнітного магнітопроводу, зібраного з окремих листів трансформаторної сталі товщиною (0,35÷0,5) мм, ізольованих один від одного прошарком ізоляційного лаку, окалини або спеціального клею.

На магнітопроводі розміщують обмотки з мідного або алюмінієвого дроту. Обмотку, яку підключають до джерела живлення називають первинною, а обмотку, до якої підключають навантаження, – вторинною.

При підключенні первинної обмотки з кількістю витків W_1 , під напругу U_1 змінного струму, у первинній обмотці виникає струм I_1 , що викликає виникнення МРС $I_1 W_1$, і відповідний їй магнітний потік Φ_1 . У магнітопроводі цей потік викликає в обмотці W_1 електрорухомих силу ЕРС E_1 , а в обмотці W_2 – ЕРС E_2 .

Якщо вторинна обмотка має навантаження, то коло вторинної обмотки виявиться замкнутим і ЕРС E_2 викличе в ньому струм I_2 .

Миттєве значення ЕРС первинної і вторинної обмоток можна визначити за формулами

$$\begin{aligned} e_1 &= -W_1 \frac{d\Phi}{dt}, \\ e_2 &= -W_2 \frac{d\Phi}{dt}. \end{aligned} \quad (6.1)$$

Поділивши значення ЕРС первинного кола на відповідне значення ЕРС вторинного кола, одержимо

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K. \quad (6.2)$$

Величина K одержала назву коефіцієнта трансформації.

Слід мати на увазі, що окрім основного магнітного потоку Φ , що проходить по феромагнітному осерддю трансформатора, пронизуючи всі витки первинної і вторинної обмоток, є ще один потік, що охоплює лише витки первинної обмотки і проходить головним чином поза осердям у повітряному просторі. Цей потік утворює в первинній обмотці електрорушійну силу розсіювання E_{1p} .

Враховуючи, що первинна обмотка має певний активний опір R_1 , рівняння електричного стану первинного кола набуває такого вигляду:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{1p} + \dot{I}_1 R_1. \quad (6.3)$$

Із цього рівняння видно, що ЕРС E_1 менше за напругу U_1 за рахунок ЕРС E_{1p} та активного опору обмотки. Але враховуючи, що ця різниця дуже мала, то можна припустити, що

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1. \quad (6.4)$$

Якщо трансформатор працює з навантаженням, то в його вторинній обмотці протікатиме струм I_2 . Цей струм також утворює свій магнітний потік, що не тільки впливає на основний магнітний потік Φ_1 , але і утворює свій потік розсіювання Φ_{2p} , який наводить у вторинній обмотці ЕРС E_{2p} .

Рівняння електричного стану вторинного кола має такий вигляд

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{2p} - \dot{I}_2 R_2. \quad (6.5)$$

Враховуючи, що різниця між U_2 і E_2 , яка обумовлена ЕРС E_{2p} і активним опором обмотки, відносно мала, можна вважати, що

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2. \quad (6.6)$$

Підставивши у рівняння (6.2) замість E_1 і E_2 відповідні напруги U_1 і U_2 одержимо

$$\frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = K. \quad (6.7)$$

Таким чином, можна вважати, що коефіцієнт трансформації являє собою співвідношення первинної і вторинної напруг.

Співвідношення між первинним і вторинним струмом в обмотках можна визначити з рівності первинної і вторинної потужностей. Дійсно, зневажаючи втрати активної потужності в обмотках та реактивною потужністю, обумовленою головним магнітним потоком і потоками розсіювання трансформатора, можна вважати що

$$U_1 I_1 = U_2 I_2.$$

Звідси

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_1}{I_2} = K. \quad (6.8)$$

Режим холостого ходу

Режим холостого ходу має місце тоді, коли коло вторинної обмотки трансформатора розімкнуте. У цьому випадку електрорушійну силу розсіювання \dot{E}_{1p} можна враховувати як падіння напруги на індуктивному опорі:

$$\dot{E}_{1p} = -\dot{I} \cdot X_1 = -I \cdot \omega \cdot L_1, \quad (6.9)$$

де L_1 і $X_1 = \omega \cdot L_1$ - індуктивність та індуктивний опір, що обумовлені полем розсіювання.

Оскільки лінії магнітного поля розсіювання проходять переважно по повітрю, то можна вважати, що $L_1 = \text{const}$ і $X_1 = \text{const}$.

Схема заміщення первинної обмотки набуває вигляду, наведеному на рисунку 6.1.

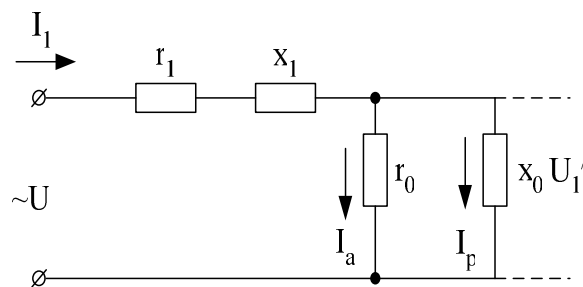


Рисунок 6.1 – Схема заміщення первинної обмотки

Після заміни в рівнянні (6.3) E_{1p} на $I\omega L_1 = \dot{I}X_1$ одержимо

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_1' + \dot{I}R_1 + \dot{I}X_1. \quad (6.10)$$

На рис.6.2 подана векторна діаграма, що відповідає розглянутій схемі заміщення. Вона побудована виходячи з того, що струм, який еквівалентний синусоїдальному струму I_1 буде відставати за фазою відносно напруги \dot{U}_1' на кут ϕ' , близький до 90° .

Цей струм має дві складові: активну I_{1a} , обумовлену витратами потужності у сталі магнітопроводу, та реактивну (індуктивну) I_{1p} , необхідну для збудження основного магнітного потоку Φ . Струм I_{1p} набагато перевищує струм I_{1a} тому кут втрат δ складає усього декілька градусів.

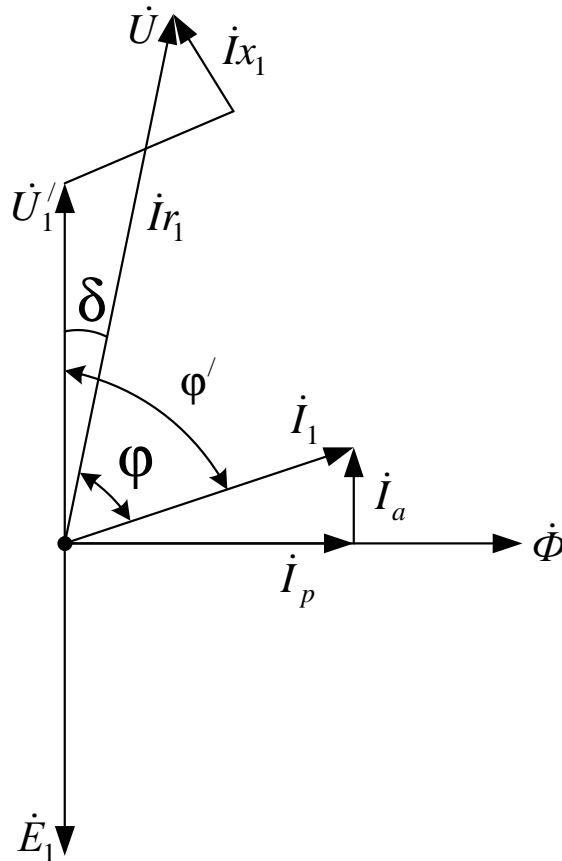


Рисунок 6.2 – Векторна діаграма трансформатора на холостому ході

Із рівняння (6.10) видно, що внаслідок падіння напруги на опорах $I_1 R_1$ та $I_1 X_1$ напруга $U_1' = E_1$ буде меншою за напругу U , підведену до трансформатора.

Напруга на виводах вторинної обмотки при холостому ході трансформатора буде рівною ЕРС E_2 , $U_2 = E_2$.

Режим роботи під навантаженням

При роботі трансформатора з навантаженням в його вторинній обмотці діє струм I_2 , цей струм бере участь у формуванні основного магнітного потоку Φ , а також утворює потік розсіювання Φ_{2p} , що наводить у вторинній обмотці ЕРС E_{2p} .

Напруга U_2 , як це впливає із рівняння електричного стану вторинного кола

$$U_2 = E_2 + E_{2p} - I_2 R_2,$$

менше ніж ЕРС E_2 на величину E_{2p} , що обумовлена потоком розсіювання та падінням напруги на активному опорі обмотки R_2 . Враховуючи, що ця різниця незначна, можна вважати, що $U_2 \approx E_2$.

Векторна діаграма, що відбиває роботу трансформатора під навантаженням має більш складний ніж при холостому ході вигляд (рис. 6.3).

Побудову такої повної векторної діаграми трансформатора доцільно вести в наступній послідовності. Відклавши вільно вектор вторинного струму \dot{I}_2 , під заданим кутом φ_2 до його будують вектор \dot{U}_2 . Прибудувавши до нього вектори падіння напруги на активному $I_2 R_2$ і реактивному $I_2 X_2$ опорах, одержують вектор \dot{E}_2 .

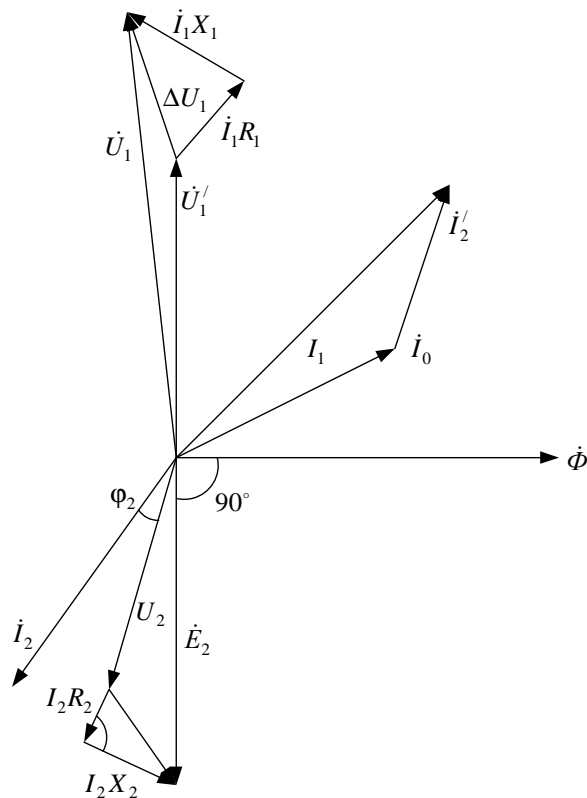


Рисунок 6.3 – Повна векторна діаграма трансформатора

Під кутом 90° до вектора \dot{E}_2 у бік випередження відкладають вектор магнітного потоку $\dot{\Phi}$, відносно якого певне положення займає вектор струму холостого ходу \dot{I}_0 . Прибудувавши до його кінця вектор приведенного вторинного струму \dot{I}_2' , який направлений паралельно вектору \dot{I}_2 , (але у протилежну сторону), і з'єднавши його кінець з початком координат, одержують вектор первинного струму \dot{I}_1 .

Відклавши потім вектор $\dot{U}_1' = E_2 \frac{W_1}{W_2}$ у бік, протилежний вектору \dot{E}_2 , і добавивши до нього вектори первинного падіння напруги $\dot{I}_1 R_1$ та $\dot{I}_1 X_1$, одержують вектор первинної напруги \dot{U}_1 .

Повній векторній діаграмі можна надати більше простий вигляд. Для цього, по-перше, змінимо на обернене прийнятий до цього позитивний напрямок ЕРС та струму у вторинному колі, а, по-друге, замість векторів \dot{E}_2 ,

\dot{U}_2 , $\dot{I}_2 R_2$ та $\dot{I}_2 X_2$ введемо пропорційні їм вектори:

$$\dot{E}_2 \frac{W_1}{W_2} = \dot{U}'_1; \quad \dot{U}_2 \frac{W_1}{W_2} = \dot{U}'_2; \quad \dot{I}_2 R_2 \frac{W_1}{W_2}; \quad \dot{I}_2 X_2 \frac{W_1}{W_2}.$$

Перше дає змогу повернути вказані вектори на 180° . Друге дозволяє замінити вторинну обмотку еквівалентною з кількістю витків, що дорівнює кількості витків первинної обмотки. Ми нібито замінюємо реальний трансформатор якимось еквівалентним з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці. При цьому вектор, що замінює \dot{E}_2 , співпадає з вектором \dot{U}'_2 , а вектор \dot{U}_2 замінюється на приведену вторинну напругу:

$$\dot{U}'_2 = \dot{U}_2 \frac{W_1}{W_2}.$$

Природно, що при подібних перерахунках слід всі опори вторинного кола (активні й реактивні) замінити таким чином, щоб енергетичні умови вторинного кола еквівалентного трансформатора з однаковим числом витків обох обмоток відповідали електричним умовам реального трансформатора. Для цього нові приведені опори вторинного кола слід виразити через приведений вторинний струм \dot{I}'_2 . Після підстановки

$$\dot{I}_2 = \dot{I}'_2 \frac{W_1}{W_2}.$$

Одержимо

$$\dot{I}_2 R_2 \frac{W_1}{W_2} = \dot{I}'_2 R_2 \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 = \dot{I}'_2 R'_2,$$

$$\dot{I}_2 X_2 = \dot{I}'_2 X'_2 \left(\frac{W_1}{W_2} \right) = \dot{I}'_2 R'_2,$$

де $R'_2 = R_2 \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2$ і $X'_2 = X_2 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2$ - приведені вторинні опори.

При струмі \dot{I}'_2 в цих опорах втрачається такі ж активні й реактивні потужності, як і в опорах R_2 та X_2 при струмі \dot{I}_2 .

Тепер схема заміщення трансформатора має вигляд (рис. 6.4).

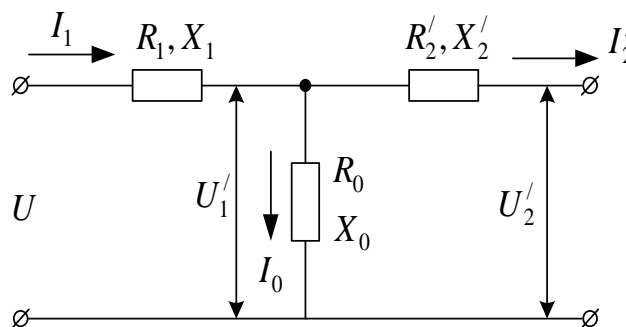


Рисунок 6.4 – Схема заміщення трансформатора

На холостому ході трансформатора завдяки відносно невеликому струму у первинній обмотці складові трикутника падіння напруги АВС (рис. 6.5) настільки малі, що вектори \dot{U}_1 і \dot{U}'_2 практично зливаються один з одним і приведена вторинна напруга дорівнює первинній. Вочевидь, чим більше навантаження трансформатора (струм I_1), тим більші сторони трикутника АВС і тим менше приведена вторинна напруга в порівнянні з первинною.

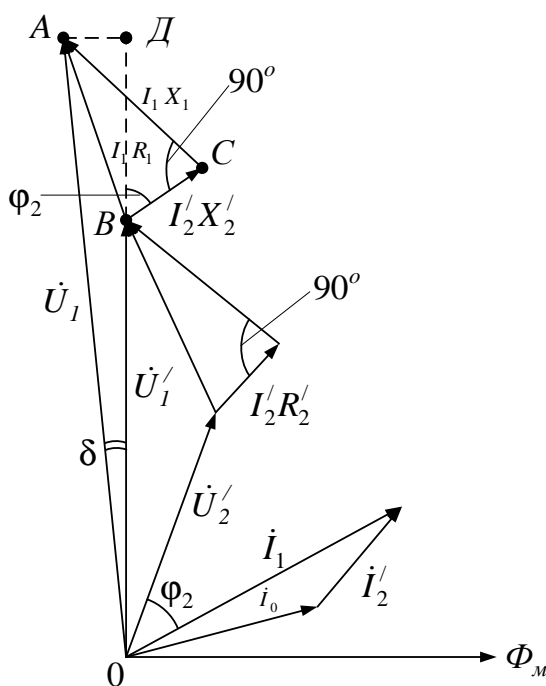


Рисунок 6.5 – Векторна діаграма що приведена до первинної обмотки

Алгебраїчна різниця між вторинною напругою на холостому ході і вторинною напругою під навантаженням $U_{2ном}$ являє собою втрату напруги в трансформаторі. При визначенні цієї величини напругу вторинної обмотки приводять до кількості витків первинної. Таким чином, втратою напруги називають алгебраїчну різницю між величиною приведеної вторинної напруги на холостому ході, що дорівнює напрузі первинної обмотки, і величиною

приведеної вторинної напруги при навантаженні $\dot{U}'_{20} = \dot{U}_1 - \dot{U}'_2$. Її визначають у відсотках від первинної напруги і позначають літерою $\varepsilon, \%$. Таким чином

$$\varepsilon, \% = \frac{U_1 - U'_2}{U_1} \cdot 100\% .$$

Враховуючи що сторони трикутника ABC набагато менші за вектори OA і OB, можна вважати, що

$$\dot{U}_1 - \dot{U}'_2 = \overline{BD} = BC \cdot \cos \varphi_2 + CA \cdot \sin \varphi_2 ,$$

або

$$\dot{U}_1 - \dot{U}'_2 = \dot{I}_1 (R \cos \varphi_2 + X \cdot \sin \varphi_2) .$$

Тоді відносна величина втрат напруги буде

$$\varepsilon, \% = \frac{100 \cdot I_1}{U_1} (R \cos \varphi_2 + X \cdot \sin \varphi_2) \% .$$

Особливості вимірювальних трансформаторів напруги

Трансформатор напруги являє собою малопотужний трансформатор, первинна обмотка якого підключена на напругу яку вимірюють, а вторинна замкнута на вольтметри та кола напруги інших приладів, що приєднані паралельно до вольтметра. Оскільки опір підключених приладів відносно великий, то умови роботи вимірювального трансформатора наближені до умов режиму холостого ходу звичайного трансформатора. Завдяки тому що внутрішнє падіння напруги $I_1 Z_1$ та $I_2 Z_2$ мають незначну величину, можна вважати, що

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &\approx -\dot{E}_1, \\ \dot{U}_2 &\approx \dot{E}_2. \end{aligned}$$

Враховуючи, що $\dot{E}_1 = \frac{W_1}{W_2} \cdot \dot{E}_2$, напруги на первинній і вторинній обмотках

зв'язані співвідношенням

$$\dot{U}_1 \approx -\frac{W_1}{W_2} \cdot \dot{U}_2 = -K \dot{U}_2 .$$

Таким чином, вторинна напруга зв'язана з первинною постійним коефіцієнтом трансформації, але за фазою вторинна напруга протилежна первинній (зсув на 180°)

При правильному виборі вторинних затисків у колі вимірювальних приладів, що підключені до вторинної обмотки, вторинна напруга співпадає по фазі з первинною. Правильна передача фази потрібна для забезпечення роботи ватметрів і лічильників енергії. Вторинна номінальна напруга у всіх трансформаторах напруги має одну і ту ж стандартну величину 100 В.

Знехтування при наведених викладках внутрішнім поданням напруги викликає появу певної похибки в передачі значення величини напруги. Ця похибка має подвійне подання — похибка за напругою і похибка кутова.

Похибка напруги за величиною вторинної напруги

Напруга на вторинних затискачах трансформатору напруги зменшена у $K = \frac{W_1}{W_2}$ разів і відрізняється від первинної напруги в наслідок втрати напруги в трансформаторі. Різниця цих напруг, як це вже вказувалося, віднесена до первинної напруги і являє собою похибку напруги

$$\varepsilon = \frac{U_2 K - U_1}{U_1} \cdot 100\%$$

Векторна діаграма трансформатора не відрізняється від діаграми силового трансформатора, однак щоб дослідити залежність похибки від навантаження треба особливо виділити трикутник падіння напруги від струму холостого ходу і струму навантаження АВС. Похибка може бути визначена по вертикальній осі від точки О до точки Д — проекції кінця вектори \dot{U}_1 на цю вісь. Оскільки напруга \dot{U}_2' менше напруги \dot{U}_1 похибка має негативний знак. При зменшенні навантаження сторони трикутника також пропорційно зменшуються. При цьому кінець вектора \dot{U}_1 переміщується по відрізьку АВ діаграми. Відповідно зменшується і похибка вимірювання напруги.

Тому бажаним режимом роботи трансформатора напруги є режим близький до режиму холостого ходу.

За діаграмою можна також дослідити залежність похибки від коефіцієнта навантаження вторинної обмотки — $\cos \varphi_2$

Із схеми заміщення впливає, що

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2' = \dot{I}_0 Z_0 + \dot{I}_2' \cdot (Z_1 + Z_2').$$

Таким чином, для зменшення похибки вимірювання слід зменшити: опори обмоток Z_1 та Z_2 , струм намагнічування I_0 а також струм навантаження. Тобто вторинний струм I_2 і сумарне споживання потужності обмотками вимірювальних приладів і реле, які підключені до вторинної обмотки, не повинні перевищувати номінальну потужність трансформатора, яка має відповідати чотирьом класам точності 0,2; 0,5; 1,0; 3,0. Ці цифри визначають похибку трансформатора у відсотках відповідно до величини вторинної напруги в номінальному режимі.

Похибка по куту

Як видно з векторної діаграми, за рахунок падіння напруги на опорах обмоток виникає похибка від передачі фази напруги. Цю похибку називають кутовою.

Падіння напруги на обмотках ΔU приводить до того, що вектори напруг первинної обмотки \dot{U}_1 і приведені напруги вторинної обмотки зі зворотним знаком не збігаються. Вектор \dot{U}_2' відстає від вектора \dot{U}_1 . Кут між цими векторами δ і визначає кутову похибку, яку вимірюють у кутових хвилинах.

При визначенні кутової похибки кут δ можна прирівняти його синусу (оскільки цей кут занадто малий):

$$\sin \delta \approx \delta \approx \frac{AD}{OA}.$$

Для трансформаторів напруги класу точності 0,5 та 1,0 допускається кутова похибка, відповідно $\pm 20'$ і $\pm 40'$. Для трансформаторів напруги класу точності 3,0 похибка не нормується.

Аналіз похибок за напругою і кутом показує, що один і той же трансформатор напруги залежно від його навантаження може працювати у різних класах точності і переходити з одного класу в інший при зміні навантаження відносно його номінальної потужності. Тому в каталогах і паспортах на трансформатори напруги вказують дві величини потужності:

- номінальну, з якою трансформатор може працювати в гарантованому класі точності;
- граничну, з якою трансформатор може працювати з допустимим нагріванням обмоток. Ця потужність може в декілька разів перевищувати номінальну.

Слід також мати на увазі, що крім розглянутих основних похибок трансформаторів напруги, які виникають при трансформації первинної напруги, виникають також додаткові похибки від падіння напруги в колах від трансформатора до місця встановлення панелей пристроїв захисту або вимірювання.

Особливо жорсткі умови висувають до втрат напруги при підключенні розрахункових лічильників. У цьому разі втрати не повинні перевищувати 0,5%. Для справних приладів ці втрати не повинні перевищувати 1,5%, а для реле захисту — 3%.

Технічні показники трансформаторів напруги

1. Номінальна напруга первинної обмотки — $U_{1ном}$.

Під номінальною напругою первинної обмотки розуміють напругу, при якій трансформатор може працювати необмежено довгий час і його діелектричні втрати $tg\delta$ та інші показники не виходять за встановлені межі.

2. Номінальна напруга вторинної обмотки — $U_{2ном}$.

Під номінальною напругою вторинної обмотки розуміють напругу, для якої призначені прилади, що підлягають приєднанню до вторинної обмотки

$$U_{2ном} = 100 \text{ В.}$$

3. Номінальний коефіцієнт трансформації.

Номінальним коефіцієнтом трансформації називають відношення номінальних напруг первинної і вторинної обмоток

$$K_{ном} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}.$$

4. Похибка трансформатора.

Похибкою трансформатора називають різницю між вторинною напругою, збільшеною у K разів, і первинною напругою, що віднесена до первинної напруги

$$\varepsilon, \% = \frac{U_2 K_{ном} - U_1}{U_1} \cdot 100\% .$$

5. Навантаження трансформаторів напруги

Під навантаженням трансформатора напруги розуміють потужність вторинних обмоток (ВА), знайдену в припущенні, що напруга на затискачах вторинної обмотки дорівнює її номінальній величині:

$$S = \frac{U_{2ном}^2}{Z} , \text{ (ВА)},$$

де $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, Ом – сумарне навантаження трансформатора. Зі збільшенням числа приладів величина Z зменшується.

6. Номінальне навантаження трансформаторів напруги.

Під номінальним навантаженням трансформаторів напруги розуміють найбільше навантаження, при якому його похибка не виходить за межі, встановлені для трансформаторів класу:

0,2; 0,5; 1,0; 3,0.

Класи відповідають граничним похибкам при вимірюванні напруги. Межі похибок за напругою і кутом віднесені до таких умов:

- 1) частота 50 Гц;
- 2) $U_1 = (0,9 - 1,1) \cdot U_{1ном}$;
- 3) $Z_{навант} = (0,25 - 1,0) \cdot Z_{ном}$;
- 4) $\cos\varphi = 0,8$.

3 Програма роботи

1. Засвоїти принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги.
2. Ознайомитись з конструктивними особливостями трансформаторів напруги, що знайшли поширення в системах електропостачання.
3. За допомогою векторної діаграми прослідити залежність похибки вимірювання від навантаження трансформатора.
4. Ознайомитись з головними параметрами трансформаторів напруги, що покладені в основу їх вибору при проектуванні систем електропостачання.
5. Розглянути і визначити параметри трансформаторів напруги, що визначають їх технічний стан в умовах експлуатації.
6. Ознайомитись з методами і схемами визначення параметрів трансформаторів напруги, які контролюють під час експлуатації.
7. Розглянути можливі схеми підключення трансформаторів напруги до головних кіл трансформаторних підстанцій.
8. Оформити звіт по роботі за встановленою формою.

4 Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній у формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненням до кожного з пунктів програми роботи. У звіті треба відобразити: схеми і ескізи, що пояснюють принцип дії трансформаторів напруги та їх конструктивні особливості; векторні діаграми, що пояснюють походження і величину похибки при вимірюванні напруги, привести і надати коротку характеристику головних параметрів трансформаторів напруги, що покладені в основу їх вибору при проектуванні підстанцій; навести коротку характеристику методів контролю технічного стану трансформаторів напруги в умовах експлуатації; навести приклади підключення трансформаторів напруги до головних кіл підстанцій. У звіті повинні бути також наведені відповіді на контрольні питання.

5 Контрольні питання

1. Які трансформатори називають трансформаторами напруги (ТН)?
2. Наведіть принципову схему ТН.
3. На якому явищі заснована дія ТН?
4. Від яких параметрів і яким чином залежить миттєве значення електрорушійної сили?
5. Які магнітні потоки утворюються при роботі ТН?
6. Наведіть і поясніть рівняння електричного стану первинного кола ТН.
7. Наведіть і поясніть рівняння електричного стану вторинного кола ТН.
8. Наведіть і поясніть векторну діаграму ТН на холостому ході?
9. Наведіть схему заміщення ТН.
10. Наведіть векторну діаграму ТН під навантаженням.
11. Наведіть векторну діаграму ТН приведену до первинної обмотки.
12. Чим визначаються втрати напруги в ТН?
13. Наведіть формулу, що визначає втрати напруги в ТН.
14. Які величини визначають похибку ТН?
15. Покажіть за допомогою векторної діаграми, від чого залежить похибка ТН.
16. Які класи точності мають ТН і як вони забезпечуються?
17. Покажіть за допомогою векторної діаграми, за рахунок чого утворюються кутові похибки ТН?
18. Які потужності вказують у каталогах ТН?
19. Що розуміють під навантаженням ТН?
20. Перерахуйте основні технічні показники ТН.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекцій курсу «Електричні апарати» (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701–"Електротехніка та електротехнології", а також для слухачів другої вищої освіти за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання") / С.В. Швець ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 152 с.
2. Буряк В.М. Електричні апарати. Навчально-методичний посібник до лабораторного практикуму. / Буряк В.М., Дейнеко Н.А. – Харків, 2008 р. – 138 с.
3. Буряк В.М. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В. Навчально-методичний посібник до практичних занять та самостійної роботи. / Буряк В.М., Дейнеко Н.А. – Харків, 2007. – 62 с.
4. Буряк В.М. Експлуатація високовольтих вимикачів. Навчально-методичний посібник до практичних занять та самостійної роботи. / Буряк В.М., Дейнеко Н.А. – Харків, 2006. – 74 с.
5. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Електрообладнання тягових підстанцій. Навчально-методичний посібник. Харків, ХНАМГ, 2005 р. – 76 с.
6. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Учебное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1989 г. – 397 с.
7. Буряк В.М. Визначення струмів короткого замикання в електричних мережах. / Буряк В.М., Дейнеко Н.А. – Харків, 2003 р. – 88 с.
8. Дейнеко Н.А. Електричні установки, апарати, вторинні кола й електричні проводки напругою до 1000 В. Методичний посібник. – Харків, ХНАМГ, 2004 р. – 128 с.
9. Буряк В.М. Контроль технічного стану електрообладнання трансформаторних підстанцій. Навчально-методичний посібник до практичних та лабораторних робіт з дисципліни "Експлуатація електрообладнання тягових підстанцій". / Буряк В.М., Дейнеко Н.А. – ХНАМГ, 2005. – 156 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

*(для студентів 3,4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології,
а також для слухачів другої вищої освіти
за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання")*

Укладачі: **СКОПЕНКО** Василь Вікторович
ШВЕЦЬ Сергій Вікторович

Відповідальний за випуск: *В. А. Маляренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 181М

Підп. до друку 09.12.2014
Друк на ризографі
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16
Ум. друк арк. 6,0
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014р.